

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



# **PROCESSOS ASSOCIADOS À GERAÇÃO DE ESCARPAS DE PRAIA**

Soraia Alexandra de Oliveira Teixeira

**Mestrado em Ciências do Mar**

Dissertação orientada por:  
PROFESSOR DOUTOR RUI PIRES DE MATOS TABORDA  
DOUTORA ANA MARIA ALMEIDA NOBRE SILVA



*"You must be the change you want to see in the world."*

Mahatma Gandhi






## **Agradecimentos**

Antes de mais gostava de agradecer a quem me incentivou a concretizar o sonho de realizar este mestrado e que me apoiou em todos os momentos, bons e menos bons. Obrigada Nelson Canelas. Obrigada aos meus pais, Paulo Teixeira e Emília Teixeira, e avós, Avô “Tonecas”, Avó Conceição, Avô António e Avó Irene, pelo apoio e dedicação que sempre tiveram à minha educação. À minha irmã, Mafalda Teixeira, por ser uma chata, mas eu gosto muito dela. Obrigada Helena Guerreiro, que estiveste sempre lá ensinando-me o verdadeiro significado de amizade. Obrigada Andreia Ferreira por te juntares a nós (a mim e a Helena) nas nossas maluqueiras e tornares o mundo melhor e mais divertido. Obrigada à Ana Margarida Parreira, Alexandre Garcia, Ana Dias e João Carvalho, pela correção e ajuda, e ao restante “Team” por todos os momentos bem passados que me ajudaram a ter força para esta fase da minha vida.

Obrigada ao Professor Rui Taborda, pela orientação da tese, e pelas horas dispensadas na mesma. Obrigada Ana Silva, por todo o apoio na realização da tese (mesmo antes de seres minha coorientadora) e em momentos mais difíceis, és uma pessoa fantástica. Obrigada Ana Bastos por largares sempre o que estavas a fazer para responderes às minhas dúvidas, e pela correção. Obrigada Umberto Andriolo, por me ajudares na parte do vídeo e pelos cafés que fizeste. Obrigada Tânia, por todos os dados que me passaste e toda a disponibilidade que tiveste para mim. Obrigada Professor João Cascalho, pela disponibilidade de nos acompanhar nas campanhas.

A todos, o meu sincero obrigada, irão ficar para sempre no meu coração. 

## Resumo

O litoral é uma zona de elevada importância antropogénica, pois é a zona mais densamente habitada em todo o mundo. É, também, uma região com elevado dinamismo, o que torna necessário a sua compreensão. Em eventos de maior energia, como é o caso das tempestades, o litoral pode sofrer alterações morfodinâmicas muito intensas num período de horas ou de dias. Como tal, é necessário compreender os fenómenos que provocam estas alterações para que seja possível prever e prevenir que as mesmas afetem negativamente a população. Um dos fenómenos em que ocorre a uma elevada taxa de erosão num curto intervalo de tempo é a formação de escarpas de praia.

Nesta dissertação propõe-se que a formação de escarpas de praia se dá quando ocorre uma diminuição brusca no declive da face de praia. Esta modificação é devida a uma variação brusca e significativa da agitação marítima incidente com efeitos no limite do máximo espraio. O objetivo principal desta dissertação é verificar esta hipótese e, associado a este objetivo, contribuir para o desenvolvimento de métodos experimentais que permitam o estudo da formação e evolução de escarpas de praia *“in situ”*.

Para a compreensão deste fenómeno concretizaram-se campanhas de campo à microescala e analisaram-se bases de dados, tanto do projeto CISML (*Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da administração da região hidrográfica do Tejo* - Andrade *et al.*, 2013) como da base de dados da praia de Narrabeen, Austrália (Turner *et al.*, 2016) de forma a identificar os fatores que condicionam a formação e a evolução de escarpas de praia.

Nas campanhas realizadas verificou-se a elevada importância do declive da face de praia, bem como a subida da maré na formação, e evolução, das escarpas de praia formadas em relevos artificiais. Verificou-se também a importância do tamanho dos relevos artificiais, das condições oceanográficas da campanha e dos métodos de medição para a obtenção de resultados conclusivos.

Na análise realizada às bases de dados, observou-se que existe uma relação entre a evolução do perfil de praia com a agitação marítima. Confirmaram-se os resultados de alguns modelos conceptuais já existentes (Sunamura (1984) em dados de campo e Komar e Gaughan (1972)) e excluíram-se outros (Rector (1954) e Sunamura (1984) em dados de laboratório). Observou-se que a agitação marítima não é o único fator que atua na formação de escarpas de praia, existindo outros fatores como a subida de maré, e a quantidade de sedimento presente na praia que permita uma erosão intensa, que também condicionam a sua formação e evolução.

Verificou-se que o parâmetro morfodinâmico  $K^*$  do modelo Sunamura (1985) constitui uma boa aproximação para o reconhecimento das condições para a formação de escarpas de praia. As escarpas identificadas nas bases de dados analisadas apresentam uma correspondência com valores de  $K^*$  elevados. No entanto, em determinadas características de agitação marítima com elevado potencial para a formação de escarpas (*i.e.* valores de  $K^*$  elevados) não foram observadas escarpas, nas bases de dados, porque: 1) o processo de escarpa efetivamente não se concretizou (e o modelo não se ajustou completamente às praias estudadas) ou 2) porque o fenómeno de escarpa pode não ter sido registado (devido ao elevado período entre campanhas, na ordem de trimestral e mensal respetivamente para CISML e Narrabeen).

Propôs-se a hipótese de perfis de verão serem mais aptos à formação de escarpas de praia devido à presença de grandes quantidades de sedimentos que estão disponíveis para serem erodidos rapidamente (característica da formação de escarpa). Em contrapartida, os perfis de inverno, onde existe menos sedimento disponível a formação de escarpa, é pouco provável a sua formação na berma, pois esta implica uma elevada taxa de erosão num curto espaço de tempo, algo impossível para uma praia com pouca quantidade de sedimentos. Nestes casos pode ocorrer formação de escarpa na duna

Após a vasta utilização de variadas técnicas para a obtenção dos resultados descritos, foi possível propor um modelo conceptual de estudos de previsão de formação de escarpas de praia que se baseia na observação ou previsão de uma variação brusca na agitação marítima. Esta variação brusca nas características de agitação marítima pode levar, por sua vez, a uma variação brusca no declive da praia. Associando este fator, à previsão da zona onde vai atuar o espraio (*run-up*) e o tipo de perfil de praia que esteja presente é possível antecipar a formação de escarpa, bem como o local da sua geração.

*Palavras-chave: Escarpas de praia; Parâmetro  $K_*$ ; Relevos artificiais; Projeto CISML; Praias de Narrabeen.*

## Abstract

The coast is an area of high anthropogenic importance because it is the most densely populated area in the world. It is also a region with great dynamism, which makes its understanding essential. In high energy events, such as storms, the coast may suffer intense morphodynamic changes over a period of hours or days. Thus, it is necessary to understand the phenomena that cause these changes so it is possible to predict and prevent a negative impact on the population. One of the phenomena that occur at a high shear rate in a short period of time is the formation of beach scarps.

This thesis suggests that the formation of beach scarps occurs when a sudden decrease in the beach face slope happens. This change is due to a sudden and significant change in the incident waves with effect on the maximum limit of wave run-up. The main objective of this work is to verify this hypothesis and, related with this objective, to contribute to the development of experimental methods to study the "*in situ*" formation and evolution of beach scarps.

In order to understand this phenomena, microscale field campaigns were performed alongside with the analysis of existent databases, both from the CISML project (*Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da administração da região hidrográfica do Tejo* - Andrade *et al.*, 2013) and from the database of Narrabeen beach, Australia (Turner *et al.*, 2016), in order to identify the factors that influence the formation and evolution of beach scarps.

The results of the experiments showed the high importance of the beach face slope and the rising tide in the formation and evolution of beach scarps, formed in artificial berms. The importance of the dimensions of the artificial reliefs was also highlighted, alongside with the oceanographic conditions during the field campaign and the measuring methods to obtain conclusive results.

In the database's analysis, it was observed a relationship between the evolution of beach profile and the oceanographic conditions. The results of some conceptual models existed in literature were confirmed (Sunamura (1984) on field data and Komar and Gaughan (1972)), while others were excluded (Rector (1954) and Sunamura (1984) on laboratory data). It was also observed that the incident waves are not the only factor that influences the scarp formation on beaches, there are other factors, such as the rising tide and the amount of available sediment on the beach, which also affect scarp formation and evolution.

It was also found that the morphodynamic parameter  $K^*$  the Sunamura model (1985) is a good approximation for the recognition of potential conditions for the formation of beach scarps. The slopes identified in the analyzed databases show a correspondence with high  $K^*$  values. However, in certain wave characteristics with high potential for the formation of escarpments (*i.e.* high  $K^*$  values), scarps were not observed due to: 1) the escarpment process did not happen (and the model did not fit completely to the studied beaches) or 2) because the escarpment phenomena may have not been registered (due to the high period between surveys, in the order of three monthly and monthly, respectively to CISML and Narrabeen).

The following hypothesis was suggested: summer profiles are more prone to the formation of beach scarps due to the availability of large amounts of sediments that can be quickly eroded (characteristic for the beach scarp formation). In contrast, winter profiles have less sediment available to the formation of escarpments. In these profiles the formation on berm scarps is less probable, as this implies a high rate of erosion in a short time, something impossible for a beach with a small amount of sediments. In these cases, a scarp formation can occur in the dune.

After extensive use of various techniques to obtain the results described, it was possible to propose a conceptual model for studies that predict the formation of beach scarps. This model is based on the observation or prediction of a sudden change in the wave regime. This sharp variation in wave characteristics can lead, in turn, to a sharp variation in the beach slope. Associating this factor, with the prediction of the run-



up location, and the type of beach profile it is possible to anticipate the formation of scarp, as well as its location-

*Keywords: beach scarps; Parameter  $K^*$ ; artificial reliefs; CISML project; Narrabeen Beach.*

# Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iv
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas .....	xii
1 Introdução .....	1
2 Hipótese e objetivos .....	5
3 Conceitos e Definições .....	7
3.1 Litoral.....	7
3.2 Litoral arenoso.....	8
3.3 Morfodinâmica .....	10
3.3.1 Inclinação da face de praia .....	10
3.3.2 Classificação morfodinâmica Wright & Short (1984) .....	14
3.3.3 Modelo de acreção e erosão de Sunamura (1985) .....	16
3.4 Formação de escarpas de praia .....	18
3.4.1 Formação de escarpas de praia (na berma) .....	18
3.4.2 Formação de escarpas na duna .....	20
3.4.3 Formação e evolução de escarpas de praia .....	21
4 Métodos .....	27
4.1 Trabalhos de campo: Evolução da escarpa de praia à microescala .....	27
4.1.1 Campanhas Cruz Quebrada (CQ1 e CQ2) .....	28
4.1.2 Campanha S. Pedro do Estoril (SPE) .....	31
4.1.3 Campanha Tróia (T) .....	32
4.2 Processamento de dados das campanhas.....	35
4.2.1 Agitação marítima .....	35
4.2.2 Topografia dos relevos .....	35
4.3 Análise dos dados adquiridos no âmbito do projeto CISML (ARH Tejo): Evolução morfológica da praia à mesoescala. ....	36
4.3.1 Enquadramento geomorfológico .....	36
4.3.2 Enquadramento oceanográfico .....	36
4.3.3 Identificação de escarpas .....	36
4.3.4 Determinação de parâmetros morfológicos e oceanográficos .....	36
4.4 Análise dos dados adquiridos na praia de Narrabeen-Collary (Austrália): Evolução morfológica da praia à mesoescala. ....	38
4.4.1 Enquadramento oceanográfico .....	39
4.4.2 Aquisição de dados.....	39

4.4.3	Parâmetros morfodinâmicos.....	40
5	Resultados e Discussão.....	41
5.1	Evolução de escarpas de praia à microescala .....	41
5.1.1	Campanhas Cruz Quebrada .....	41
5.1.2	Campanha São Pedro do Estoril .....	45
5.1.3	Campanha Tróia (T) .....	47
5.1.4	Discussão .....	50
5.2	Morfodinâmica associada à geração e evolução de escarpas de praia.....	51
5.2.1	Declive .....	51
5.2.2	Concavidade e evolução do perfil .....	55
5.2.3	Evolução do perfil e agitação marítima .....	56
5.3	Ocorrência e condições de geração escarpas de praia .....	61
5.3.1	Dados de campo .....	61
5.3.2	Condições de geração de escarpa .....	65
6	Conclusões e perspectivas .....	73
7	Apêndices .....	75
7.1	Forçamento .....	75
7.1.1	Maré .....	75
7.1.2	Sobrelevação Meteorológica.....	76
7.1.3	Ondas.....	76
7.1.4	Águas Profundas.....	79
7.1.5	Águas Rasas .....	79
7.1.6	Correntes litorais .....	81
8	Bibliografia.....	83
9	Anexos .....	88
9.1	Campanha CQ 27/10/2015.....	88
9.1.1	Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais .....	88
9.1.2	Dados de agitação marítima (IH) .....	88
9.1.3	Velocidade de espraio .....	89
9.2	Campanha CQ 23/11/2015.....	89
9.2.1	Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais .....	89
9.2.2	Velocidade de espraio e dados de agitação marítima (IH).....	90
9.2.3	Valores médios obtidos dos dados do transdutor .....	90
9.3	Campanha SPE 23/11/2015.....	91
9.3.1	Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais .....	91
9.3.2	Análise espectral.....	92

9.3.3	Velocidade de espraio e dados de agitação marítima (IH).....	92
9.4	Campanha T 20/05/2016.....	93
9.4.1	Perfil de praia .....	93
9.4.2	Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais .....	93
9.4.3	Perfis dos Relevos 1 e 2 .....	94
9.4.4	Velocidade de espraio e relação agitação/perfil .....	95
9.5	Projeto CISML .....	96
9.5.1	Tabela síntese .....	96
9.6	Gráficos de relação entre o declive e a agitação marítima dos dados de Narrabeen.....	98

## Índice de Figuras

Figura 1: Comparação de escalas temporais e escalas espaciais de efeito de vários fenómenos oceanográficos e geológicos. Dá-se especial atenção às tempestades. Adaptado de CEM (2002) parte IV. ....	1
Figura 2: Figura ilustrativa da hipótese apresentada nesta dissertação. Relação entre a agitação marítima e a resposta da face de praia. a) Representação de condições de equilíbrio entre agitação marítima e declive de face de praia; b) Representação da resposta do declive ao decréscimo da energia da agitação incidente; c) Representação da resposta do declive ao aumento da energia da agitação incidente; d) Representação da resposta do declive ao aumento brusco da energia da agitação incidente. ....	5
Figura 3: Limites dos domínios litoral, zona costeira e orla costeira (Adaptado de Barroco INAG, 2009). ....	7
Figura 4: Esquema ilustrativo dos vários elementos que podem estar presentes no perfil de praia, bem como os subdomínios na praia e duna. A linha, cor de laranja a tracejado, entre a duna e a praia marca a posição da linha de costa. Adaptado de Carapuço et al., (2016). ....	8
Figura 5: Gráfico representativo da relação entre o tamanho do sedimento e a inclinação da face de praia. Adaptado de Komar (1998). ....	11
Figura 6: Representação da curva apresentada por Shepard em 1963 onde se mostra a relação entre a inclinação do domínio intertidal e o tamanho medio do sedimento a azul. A laranja observa-se a curva resultante do trabalho de MacLean e Kirk em 1969, na Nova Zelândia, onde se verifica uma relação menos linear do que a proposta por Shepard (1963), devido aos sedimentos mal calibrados característicos das praias em estudo. Adaptado de Komar (1998). ....	12
Figura 7: Esquema representativo dos vários estágios do modelo de Sunamura (1985). Sequência acrecionária (1, 2, 3, 4 e 5); Sequência erosiva (1, 8, 7, 6 e 5). Adaptado de Short (1999). ....	17
Figura 8: Esquematisação dos principais fatores que contribuem para a formação de escarpas de praia. Adaptado de Bonte (2013). ....	18
Figura 9: Esquema dos estágios de formação de escarpas de praia. Modelo Katoh e Yanagishima (1992) e imagem adaptada de Bonte (2013). ....	19
Figura 10: Esquematisação dos vários fenómenos que podem originar escarpas em dunas. Adaptado de Nishi e Kraus, 1996. ....	21
Figura 11: Exemplo dos relevos realizados nas campanhas. Relevos da campanha de Tróia. ....	28
Figura 12: Enquadramento das campanhas da Cruz Quebrada. Enquadramento geral (a) e enquadramento do local da experiência (b). (Imagens Basemap Imagery ArcGis 10.2.2©) ....	29
Figura 13: Representação dos relevos no início da experiência na campanha CQ1. ....	29
Figura 14: Representação dos relevos no início da experiência na campanha CQ2. ....	30
Figura 15: Enquadramento geográfico da Campanha de S. Pedro do Estoril. Enquadramento geral (a) e enquadramento do local da experiência (b). (Imagens Basemap Imagery ArcGis 10.2.2©) ....	31
Figura 16: Representação dos relevos no início da experiência na campanha SPE. ....	32
Figura 17: Enquadramento geográfico da área em estudo da campanha de Tróia. Enquadramento geral (a) e enquadramento do local da experiência (b). (Imagens Basemap Imagery ArcGis 10.2.2©) ....	33
Figura 18: Representação dos relevos no início da experiência na campanha T. ....	34
Figura 19: Localização da área em estudo. (a) Foto aérea onde se encontram representados os 7 perfis existentes, bem como a batimetria com isolinhas de 2,5 em 2,5 metros e a distância de cada perfil ao promontório norte (s). Nesta dissertação irá ser focado o PF2. (b) Localização da praia de Narrabeen-Praia de Collaroy e da boia onde foram recolhidos os dados de agitação marítima offshore. (c) Visão geral. Adaptado de Turner et al., (2016). ....	38
Figura 20: a) Estado inicial da experiência da campanha CQ1. b) Estado final da experiência CQ1. ....	41
Figura 21: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar. ....	42
Figura 22: Gráfico representativo da evolução da topografia dos Relevos 2 e 3. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar. ....	42

Figura 23: a) Estado inicial da experiencia da campanha CQ2. b) Estado final da experiência CQ2.....	43
Figura 24: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar.....	43
Figura 25: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 2. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar.....	44
Figura 26: Representação da erosão mais acentuada no lado direito do relevo 2 do que no lado esquerdo devido a efeitos de fronteira.....	44
Figura 27: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima de terra. ....	45
Figura 28: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima de terra. ....	46
Figura 29: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima de terra. ....	46
Figura 30: Análise espectral de 10 em 10 minutos durante o decorrer da experiencia realizada na campanha T. ....	48
Figura 31: Gráfico representativo da topografia do relevo 3 ao longo do tempo. ....	49
Figura 32: Gráfico representativo do diâmetro médio do sedimento recolhido durante as campanhas realizadas, em escala $\phi$ , e a inclinação da face de praia, em graus. ....	52
Figura 33: Gráfico comparativo com os declives medidos em campo com os declives calculados a partir dos modelos de Sunamura (1985) para dados de campo ( $R^2=0.0649$ ) e Komar e Gaughan (1972) ( $R^2=0.0115$ )....	53
Figura 34: a) Gráfico que representa a variação do declive do perfil de praia com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre o declive e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de $R^2 = 0.2333$ . ...	54
Figura 35: a) Gráfico que representa a variação da concavidade do perfil de praia com o tempo, acompanhado pela variação evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre a concavidade e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de $R^2 = 0.0159$ .....	55
Figura 36: a) Gráfico que representa a variação da altura significativa com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre $H_s$ e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de $R^2 = 0.0577$ .....	56
Figura 37: a) Gráfico que representa a variação do período de pico com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre $T_p$ e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de $R^2 = 0.0284$ .....	57
Figura 38: a) Gráfico que representa a variação da direção das ondas com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre $Dir$ e a largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de $R^2 = 0.0164$ .....	58
Figura 39: a) Gráfico que relaciona a largura do perfil com o parâmetro $K^*$ ao longo do tempo. B) Gráfico de correlação entre a evolução da largura do perfil com o parâmetro $K$ , onde se encontra representado o perfil com escarpa.....	59
Figura 40: a) Perfis realizados na praia de Narrabeen que apresentam valores de $K^*$ superiores a 18. b) Perfil onde se detetou com escarpa. ....	60
Figura 41: Fotografia da escarpa formada na praia de Pedras Negras em 07/03/2011 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013 .....	61
Figura 42: Fotografia da escarpa formada na praia de Pedras Negras em 26/06/2013 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013 .....	62
Figura 43: Fotografia da escarpa formada na praia de Paredes de Vitória em 13/12/2012 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013. ....	62
Figura 44: Fotografia da escarpa formada na praia de Santa Cruz a 13/03/2013 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013. ....	63

Figura 45: Fotografia da escarpa formada na praia de Paredes de Santa Cruz em 12/06/2013 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013.....	63
Figura 46: Fotografia da escarpa formada na praia da Fonte da Telha em 21/04/2011 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013 .....	64
Figura 47: Dados de Altura significativa ( $H_s$ em m), comprimento de onda ( $L$ em m), período médio ( $T_m$ em s) e a Direção nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 07/03/2011 em Pedras Negras. ....	65
Figura 48: Dados de Altura significativa ( $H_s$ em m), comprimento de onda ( $L$ em m), período médio ( $T_m$ em s) e a Direção nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 26/06/2013 em Pedras Negras. Traços a laranja marcam variações bruscas. ....	66
Figura 49: Dados de Altura significativa ( $H_s$ em m), comprimento de onda ( $L$ em m), período médio ( $T_m$ em s) e a Direção nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 19/12/2012 em Paredes de Vitória. Traços a laranja marcam variações bruscas. ....	67
Figura 50: Dados de Altura significativa ( $H_s$ em m), comprimento de onda ( $L$ em m), período médio ( $T_m$ em s) e a Direção das ondas nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 13/03/2013 em Santa Cruz. Traços a laranja marcam variações bruscas. ....	68
Figura 51: Dados de Altura significativa ( $H_s$ em m), comprimento de onda ( $L$ em m), período médio ( $T_m$ em s) e a Direção das ondas nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 12/06/2013 em Santa Cruz. Traços a laranja marcam variações bruscas. ....	69
Figura 52: Dados de Altura significativa ( $H_s$ em m), comprimento de onda ( $L$ em m), período médio ( $T_m$ em s) e a Direção das ondas nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 21/04/2012 a Fonte da Telha. Traços a laranja marcam variações bruscas. ....	70
Figura 53: Gráfico onde se projetou os valores de $K$ calculados para a serie temporal contida nas campanhas analisadas da ARH Tejo, cem como os perfis onde se detetou escarpas e as datas que se associaram à formação das mesmas. As riscas azuis representam as campanhas realizadas às praias onde se detetou a ocorrência de escarpas.....	71
Figura 54: Modelo conceptual de previsão de formação de escarpas de praia.....	74
Figura 55: Representação esquemática, da ação do Sol e da Lua na formação das marés, bem como as distancias e os pesos dos respetivos astros. Adaptado de Dias, APRH, 2007. ....	76
Figura 56: : Esquema do litoral: representação das zonas em que se divide em função da interação das ondas com o fundo. $H_0$ : Altura de onda em águas profundas; $L_0$ : Comprimento de onda em águas profundas; $d$ : Profundidade; $L$ : Comprimento de onda. Adaptado de Bonte (2013). ....	78
Figura 57: Representação dos tipos de rebentação. Adaptado de Jaud (2011).....	80
Figura 58: Esquema representativo das várias correntes atuantes no litoral. Adaptado de Stewart, 2007. ...	81
Figura 59: Esquema Representativo da Deriva litoral. ....	82

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Resumo do conhecimento atual sobre escarpas de praia.....	3
Tabela 2: Definição de elementos morfológicos que podem estar presentes num perfil de praia e sua correspondência com os domínios altimétricos. As definições apresentadas são as usadas ao longo desta dissertação.....	9
Tabela 3: Características das principais classificações morfodinâmicas propostas por Wright & Short (1984). Adaptado de Short (1999). (*) Conceitos em apêndice. ....	15
Tabela 4: Resumo de experiências sobre a formação de escarpas de praia in situ. Fonte: Bonte 2013. ....	22
Tabela 5: Equações mais importantes para o cálculo de parâmetros essenciais para a formação de escarpas. Fonte: Bonte (2013).....	24
Tabela 6: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da primeira campanha. ....	29
Tabela 7: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da segunda campanha. ....	30
Tabela 8: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da terceira campanha. ....	32
Tabela 9: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da quarta campanha (T). ....	33
Tabela 10: Cotas utilizadas para o limite superior do cálculo do declive.....	37
Tabela 11: Valores das correlações entre os dados de agitação marítima, concavidade e declive do perfil de praia com as diferentes cotas tomadas como referência, que são utilizadas posteriormente. ....	40
Tabela 12: Valores da análise espectral dos dados recolhidos pelos transdutores de pressão. Análise de 10 em 10 minutos da Altura Significativa (Hs), dos Períodos Médios (T1 e T2), Período de Zero Ascendente (Tz), Período de Pico (Tp), e Frequência de Pico (Fp), Valores médios são apresentados na última linha.....	48
Tabela 13: Valores de altura angulo declive e face de praia, apos a formação de escarpa.....	49
Tabela 14: Informações sobre a data dos picos de K, datas das campanhas onde foram detetadas as escarpas e os dias passados entre o pico de K e as datas das campanhas com escarpas. ....	71
Tabela 15: Definição de elementos constituintes de uma onda de vento. (Stewart, 2008). Nota: A altura significativa, o período médio e o período de pico são definidos para ondas policromáticas. ....	77



# 1 Introdução

A zona costeira corresponde a uma área de interface entre o continente e o mar, sendo caracterizada por um grande dinamismo. Esta região é das mais densamente habitadas do globo terrestre e onde se situam importantes núcleos antropogénicos (Nordstrom, 2008). A ocupação antrópica da faixa costeira conflitua muitas vezes com o dinamismo natural da linha de costa, em particular quando existe erosão. Acresce ainda, que a própria ocupação da faixa costeira e das bacias hidrográficas pode potenciar os fenómenos de erosão em consequência da diminuição do fornecimento sedimentar à zona costeira (Dias, 1993). Tal diminuição advém de várias ações como sejam, a construção de barragens, a realização de dragagens, a destruição de barreiras naturais (dunas), a construção de estradas e de edifícios no topo de arribas, a exploração de areias, entre outros (Dias, 1993). Também a construção de proteções transversais e longitudinais à praia mal planificadas podem provocar a redução da área de praia e/ou destruição do sistema dunar (Dias, 1993).

Os principais processos associados à dinâmica da orla costeira atuam numa grande variedade de escalas temporais e espaciais (Figura 1). Exemplificando, existem fenómenos que podem ocorrer a escalas temporais na ordem dos segundos (e.g. terremotos) até fenómenos que demoram milhares de anos, com é o caso da formação de glaciares. Dentro destes fenómenos as tempestades são dos que apresentam efeitos mais preocupantes na evolução morfológica da zona costeira. As tempestades têm escalas temporais curtas (horas a semanas) e podem afetar áreas consideráveis (dezenas a milhares de quilómetros) (CEM, 2002 – parte IV).

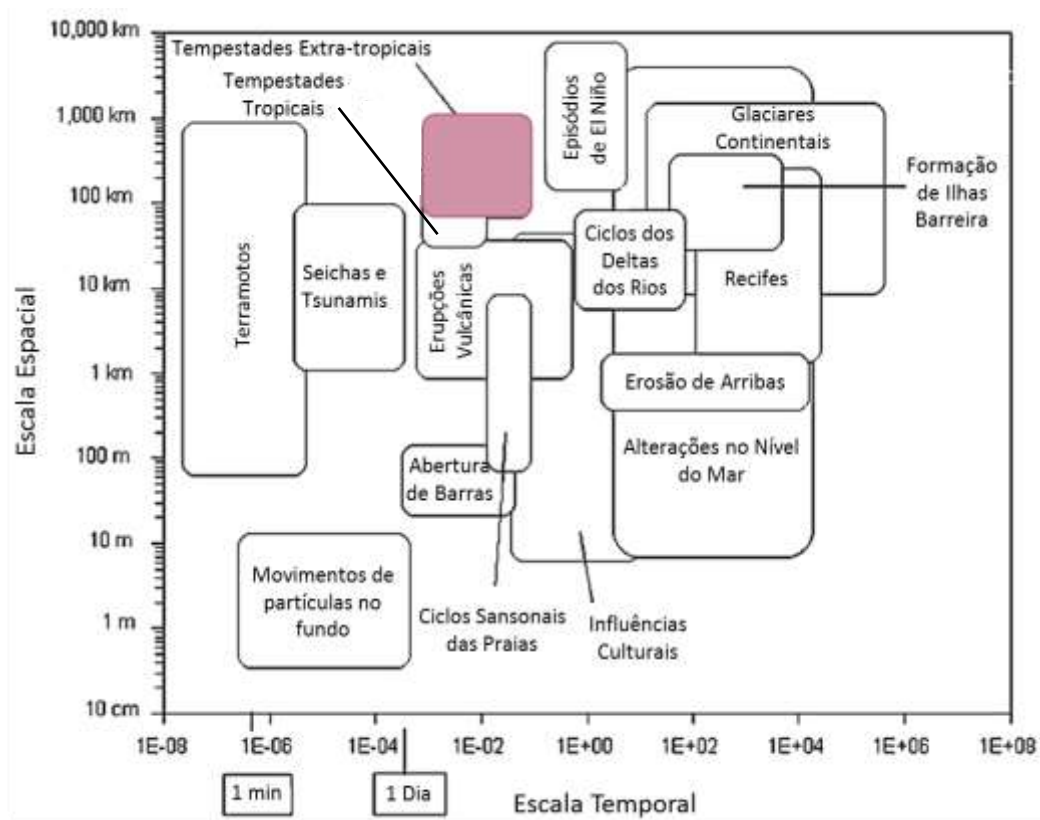


Figura 1: Comparação de escalas temporais e escalas espaciais de efeito de vários fenómenos oceanográficos e geológicos. Dá-se especial atenção às tempestades. Adaptado de CEM (2002) parte IV.

Em condições de tempestade ocorrem geralmente importantes interações no sistema mar/praia, podendo a ação das ondas levar a relevantes alterações morfológicas na praia, e mesmo à destruição, total ou parcial, da duna ou inundação para terra (Bonte, 2013). Nestas circunstâncias pode formar-se uma escarpa de praia que afeta a berma ou a duna. A escarpa de praia é uma descontinuidade morfológica, com declive elevado, que

ocorre na zona supratidal<sup>1</sup> apresentado um desnível geralmente com dimensões decimétricas a métricas, e que pode estender-se por dezenas a centenas de metros ao longo da praia (Bonte, 2013). A formação da escarpa implica a erosão de um volume sedimentar que pode apresentar uma elevada magnitude num curto intervalo de tempo (horas a dias) e corresponde a uma situação de desequilíbrio morfológico. Este fenómeno é muito complexo e de difícil previsão sendo as suas características análogas às observadas nas escarpas de erosão marginal nos rios (Bonte, 2013).

A ausência de modelos de geração e evolução de escarpas de praia fiáveis reside, essencialmente, na dificuldade da recolha de dados de perfis de praia e de agitação marítima durante os episódios de tempestades. Este facto tem levado a que o estudo da geração e evolução de escarpas de praia seja efetuado, fundamentalmente, em laboratório (através de modelação física em tanques de ondas) ou por modelação numérica (Rocha, 2015). Estas técnicas de investigação dão uma ideia do comportamento da escarpa no perfil de praia transversal à linha de costa, mas será importante considerar que este fenómeno tem uma forte componente longitudinal (Bonte, 2013).

Assim, associando as limitações dos modelos físicos e numéricos à falta de dados morfológicos da praia e de agitação durante eventos de tempestade, o conhecimento sobre a formação e evolução de escarpas é, ainda, reduzido (Bonte, 2013).

Atualmente, existem numerosos estudos sobre a morfologia e processos físicos que afetam a escarpa de uma duna e modelos conceptuais que descrevem escarpas de praia em ambientes microtidal<sup>2</sup> e mesotidal<sup>3</sup> (Bonte *et al.*, 2014). Na Tabela 1 encontra-se um breve resumo dos conhecimentos atuais sobre a formação de escarpas de praia.

---

<sup>1</sup> Zona supratidal: Zona da praia que se situa acima do nível médio de preia-mar em águas vivas (NMPMAV, Figura 4), sendo inundado apenas ocasionalmente por condições de agitação marítima excecionais (Allaby *et al.*, 1999).

<sup>2</sup> Zona microtidal: Zona de praia onde a diferença altimétrica entre marés é inferior a dois metros, ver *Apêndices*.

<sup>3</sup> Zona mesotidal: Zona de praia onde a diferença altimétrica entre marés varia entre dois a quatro metros, ver *Apêndices*.

Tabela 1: Resumo do conhecimento atual sobre escarpas de praia.

ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS SOBRE ESCARPAS DE PRAIA	
<b>SHERMAN E NORDSTROM (1985)</b>	Através de observações <i>in situ</i> , estes autores verificaram que a formação de escarpas de praia é influenciada pela ação das ondas e transporte sedimentar tanto na componente transversal (ao longo do perfil da praia, <i>crosshore</i> ) como na componente longitudinal ( <i>longshore</i> ).
<b>FISHER ET AL., (1986) OVERTON E FISHER (1988)</b>	Experiências realizadas em laboratório pelos autores levaram à conclusão que é difícil isolar o impacto de um único espraio sobre o relevo erodido, mas a erosão total durante um evento está linearmente relacionada com o somatório da intensidade de cada um dos espraio.
<b>KATOH E YANAGISHIMA (1993)</b>	Os autores realizaram estudos sobre a formação e erosão natural da berma usando dados de várias praias. Esses estudos deram origem a um modelo que prevê que o transporte longitudinal de sedimento pela ação do espraio é importante na formação de escarpas de praia. Consideram que o nível freático é importante na erosão da berma. Concluíram também que o comprimento de onda da agitação marítima tem uma grande influência no transporte longitudinal e consequentemente na formação de escarpas de praia.
<b>NISHI ET AL., (1997)</b>	Observações mostraram que as escarpas de praia podem variar a sua configuração na sua componente longitudinal devido à variação do transporte de sedimento na sua geração.
<b>KUBOTA ET AL., (1999)</b>	Estes autores realizaram experiências, em praias do Japão, utilizando relevos artificiais com o objetivo de verificar a interação da maré com os mesmos. Para o efeito, foram usadas varas de ferro para medição de alterações morfológicas no relevo artificial. Os autores concluíram que a utilização de relevos artificiais é eficaz no estudo de escarpas de praia, obtendo-se resultados representativos.
<b>SEYMOUR ET AL., (2004)</b>	Os autores observaram a rápida erosão de um relevo artificial em que ocorreu a formação de uma escarpa. Verificou-se que a formação de escarpa só se iniciou aquando o galgamento da mesma, originando uma corrente longitudinal que permitiu a evolução da escarpa de praia.
<b>PAYO ET AL., (2008)</b>	Mostraram que a variabilidade transversal da escarpa de praia está relacionada com a presença de estruturas antrópicas no limite terrestre da praia. A falta de dados de campo para validar os resultados da modelação também é apontada para a deficiente capacidade de previsão dos modelos numéricos existentes.
<b>BUCK (2007) KOBAYASHI ET AL., (2009)</b>	Através de modelação numérica, estes autores demonstraram que o efeito do ângulo de incidência da onda na berma e mesmo na duna tem uma importância na taxa de erosão na ordem de 20 %.
<b>BONTE (2013)</b>	A migração da zona de espraio devido à variação do nível da maré é importante na formação e erosão da escarpa pois com a subida da maré a ação da ressaca tende a reduzir a sua eficiência.



## 2 Hipótese e objetivos

Na presente dissertação é avaliada a hipótese da geração de uma escarpa de praia resultar de um desequilíbrio morfológico associado a uma rápida diminuição do declive da face de praia. Esta hipótese assenta no pressuposto que a inclinação da face de praia depende das características da agitação incidente. Como tal, quando as características das ondas se alteram o declive da face de praia tende a modificar-se. No entanto, esta resposta não é instantânea dependendo da razão entre a escala temporal da variação do forçamento oceanográfico e do tempo de resposta do perfil (Figura 2):

- Quando as modificações são lentas relativamente ao tempo de resposta morfológica, o perfil reajusta-se continuamente à agitação incidente, apresentando condições de “equilíbrio” (Figura 2a);
- Quando as modificações na agitação marítima são rápidas (relativamente ao tempo de resposta morfológica do perfil), o perfil não tem tempo para se reajustar, ocorrendo alterações no seu declive podendo este configurar-se com forma convexa ou côncava. Sabe-se que o setor inferior da face ativa responde mais rapidamente às variações da agitação (porque é o setor onde ocorre maior interação entre as ondas e o perfil de praia), logo, quando as condições de agitação se modificam no sentido de favorecer a geração de perfis mais inclinados, gera-se um perfil convexo (Figura 2b).
- Quando a agitação tende a fazer diminuir o declive, a face de praia terá tendência a apresentar um perfil côncavo (Figura 2c);
- Se esta variação for muito rápida (brusca) e significativa (isto é, se as condições de agitação favorecerem um perfil de “equilíbrio” significativamente diferente das condições de agitação anteriores) pode formar-se, em caso extremo de erosão, uma escarpa junto ao limite do máximo espraio (Figura 2d).

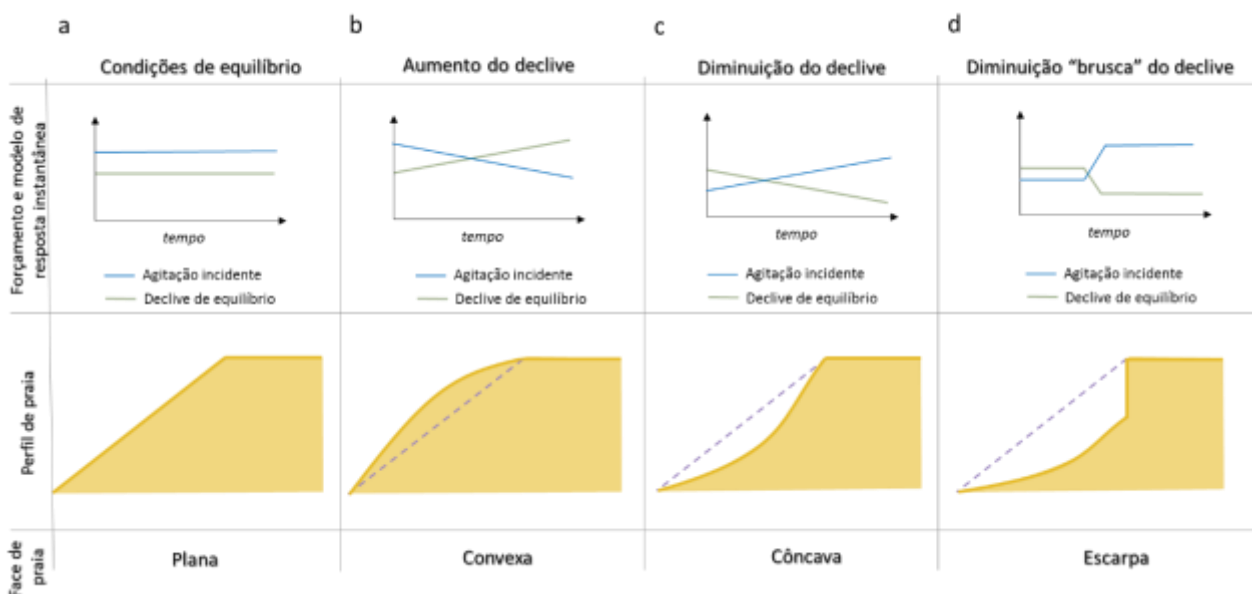


Figura 2: Figura ilustrativa da hipótese apresentada nesta dissertação. Relação entre a agitação marítima e a resposta da face de praia. a) Representação de condições de equilíbrio entre agitação marítima e declive de face de praia; b) Representação da resposta do declive ao decréscimo da energia da agitação incidente; c) Representação da resposta do declive ao aumento da energia da agitação incidente; d) Representação da resposta do declive ao aumento brusco da energia da agitação incidente.

O objetivo deste trabalho é verificar a hipótese inicialmente apresentada, de forma a contribuir para o conhecimento dos processos associados à geração de escarpas de praia por ação da agitação marítima. Foi ainda considerado um objetivo complementar relacionado com o desenvolvimento de métodos experimentais para aquisição de dados sobre a geração e evolução de escarpas de praia.

### 3 Conceitos e Definições

#### 3.1 Litoral

Entende-se como litoral toda a área de interação entre o domínio marítimo e terrestre que pode englobar centenas de quilómetros para terra e até 200 milhas náuticas para domínio oceânico (Barroco INAG, 2009). Este engloba a zona costeira, a orla costeira e a linha de costa, que serão descritos de seguida (Figura 3).

A zona costeira é a área influenciada, em termos biofísicos, pela proximidade com a costa e limitada por um limite terrestre e um limite oceânico (Barroco INAG, 2009). O limite terrestre é definido como uma “linha” com distância de dois quilómetros da Linha da Máxima Preia-Mar das Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE), enquanto o limite marítimo é definido pela fronteira das águas territoriais como pode ser observado na Figura 3 (e.g., a uma distância de 12 milhas náuticas da linha de base) (Barroco INAG, 2009).

A orla costeira constitui uma faixa mais estreita, e está situada entre a batimetria dos 30 metros e centenas de quilómetros para terra. Nesta orla, encontra-se a linha de costa que constitui o limite entre os domínios terra e mar, estando este limite presente independentemente do tipo de litoral (Figura 3).

Por último, entende-se como linha de costa a linha da base da duna (Davidson-Arnott, 2012), podendo considerar-se também a cota de máximo espraio ou a cota da berma ativa (Carapuço *et al.*, 2016). Contudo, a posição da linha de costa varia pois está relacionada com critérios morfológicos. Carapuço *et al.*, (2016) propõem que a definição da linha de costa correspondesse ao nível de *Mean High Water* (MHW) passando a ser um critério relacionado com um *datum* de maré conhecido e amplamente utilizado.

Nesta dissertação utiliza-se a definição de Davidson-Arnott (2012), contudo existem outras definições para estes limites que utilizam características como a cota relativa do nível do mar (Davidson-Arnott, 2012). No entanto, é importante que se encontrem indicadores coerentes, que estejam sempre presentes para que se obtenha uma normalização dos critérios aplicados (Carapuço *et al.*, 2016).



Figura 3: Limites dos domínios litoral, zona costeira e orla costeira (Adaptado de Barroco INAG, 2009).

### 3.2 Litoral arenoso

Este trabalho foca-se estritamente no litoral baixo e arenoso, ou praia como é usualmente conhecida. A praia é um sistema dinâmico onde ocorrem variações morfológicas a uma escala temporal pequena (desde horas a semanas) devido à ação das ondas no transporte de sedimento (Carapuço *et al.*, 2016). Define-se como praia uma área onde ocorre a deposição e acumulação de sedimentos não consolidados (por norma, granulometrias que varia entre areia fina e cascalho, podendo não apresentar homogeneidade) pela ação das ondas. Esta encontra-se compreendida entre a profundidade de fecho, onde cessa a interação das ondas com o fundo para o mar, e um elemento para terra que indique a rara ou ausente interação com o mar como a presença de dunas, arribas ou vegetação permanente (Komar, 1998; Short *et al.*, 2013).

Pode-se utilizar dois tipos de classificação para os domínios constituintes da praia. Uma dessas classificações baseia-se num critério altimétrico, por exemplo, cotas que são conhecidas e relacionadas com o nível médio do mar (NMM) ou com outro *datum* altimétrico conhecido, e outra classificação tem com base na morfologia (Figura 4).

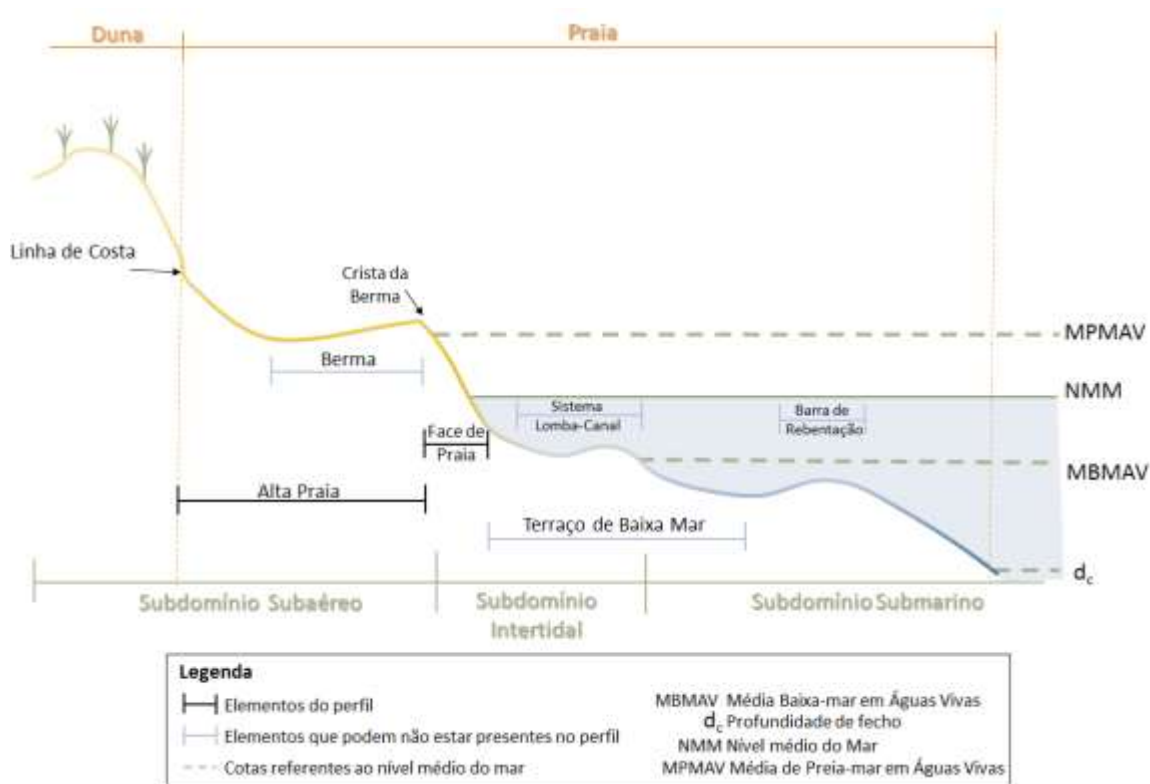


Figura 4: Esquema ilustrativo dos vários elementos que podem estar presentes no perfil de praia, bem como os subdomínios na praia e duna. A linha, cor de laranja a tracejado, entre a duna e a praia marca a posição da linha de costa. Adaptado de Carapuço *et al.*, (2016).

Para a classificação com base em critérios de cotas, relacionadas com o NMM, podem-se descrever três subdomínios, o subdomínio subaéreo, que se encontra acima da zona de interação da maré mais alta (MPMAV), só sofrendo a interação do mar em períodos de maior energia (*e.g.* tempestades), o subdomínio intertidal, que se delimita desde a cota da maré mais alta até à cota da maré mais baixa (MBMAV) e o subdomínio submarino, por norma sempre submerso, abaixo da cota de maré mais baixa em águas vivas (MBMAV).



Classificando morfologicamente o perfil de praia, podem definir-se os seguintes setores de terra para o mar: alta praia, face de praia, terraço de baixa-mar e praia submersa. A definição usual de cada um destes elementos encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2: Definição de elementos morfológicos que podem estar presentes num perfil de praia e sua correspondência com os domínios altimétricos. As definições apresentadas são as usadas ao longo desta dissertação.

GLOSSÁRIO: ELEMENTOS PRESENTES NUMA PRAIA			
DOMÍNIO TERRESTRE		Duna	Pequenos relevos formados por areia que foi depositada por ação eólica, marítima ou antropogénica podendo estar cobertos por vegetação (Carapuço <i>et al.</i> , 2016).
PRAIA	Domínio Subaéreo	Linha de costa	Nesta dissertação considera-se que a linha de costa é representada pela base da duna (Davidson-Arnott, 2012).
		Escarpa de praia	Descontinuidade morfológica, com declive elevado, que ocorre na zona supratidal apresentado um desnível geralmente com dimensões decimétricas a métricas, e que se pode estender por dezenas a centenas de metros ao longo da praia (Bonte, 2013).
		Alta praia	Parte superior da praia incluída no domínio subaéreo que em condições normais não é atingida pela maré (APRH, 2007).
		Berma	Relevo mais ou menos acentuado, resultado da deposição de sedimento pelo espraio das ondas e definido como uma zona com inclinação subhorizontal ou com inclinação suave para terra. A berma termina, para o lado de mar, na crista da berma (Short <i>et al.</i> , 2013).
	Domínio Intertidal	Face de praia	Zona com elevada inclinação, para o lado de mar, que se encontra exposta à rebentação e/ou espraio das ondas. Este elemento geralmente termina quando a inclinação se torna subhorizontal. A face de praia já se encontra no domínio intertidal, mas acima do nível médio das águas do mar (APRH, 2007).
		Lobo de praia	Morfologia rítmica típica de algumas praias, caracterizada pela existência de elevações transversais de areia, regularmente espaçadas e alternadas com depressões, conferindo à praia um aspeto característico ondulado (APRH, 2007).
		Terraço de baixa-mar	Encontra-se ainda no domínio intertidal, apenas emerso na maré baixa. Este elemento pode ser de topografia regular ou apresentar sistemas de lomba-canal formados devido à interação das ondas com o fundo, em maré alta.
	Domínio Submarino	Barra de rebentação	São corpos de areia, localizados na zona de rebentação que provocam a o colapso das ondas e são formadas devido à interação das próprias ondas com o fundo. As barras de rebentação podem-se localizar longitudinal ou obliquamente à linha de costa.

Na presente dissertação procurou definir-se concretamente os limites da face de praia, seguindo sempre que possível os elementos anteriormente descritos. No entanto, em algumas ocasiões (ou em alguns dados), não são reconhecidos (ou não estão presentes) os elementos morfológicos que limitam a face de praia, pelo que algumas adaptações foram consideradas.

Assim, definiu-se o limite superior da face de praia como a crista da berma ou, caso esta não exista, pela cota a partir da qual não se verifica uma variação morfológica significativa durante anos.

Para o limite inferior da face de praia e, na ausência de uma superfície sub-horizontal, admite-se que esta termina à cota de zero metros (referente ao *datum* do zero hidrográfico<sup>4</sup>), uma vez que parte dos perfis topográficos analisados, no decorrer deste trabalho, foram adquiridos até esta cota.

A configuração morfológica do perfil da face de praia deverá relacionar-se com o estado da praia, pois segundo Morelock *et al.*, (2005) este perfil da face de praia pode apresentar uma configuração côncava caso a praia se encontre em erosão, convexa caso a praia se encontre em acreção e num termo intermédio caso esteja em equilíbrio.

### 3.3 Morfodinâmica

As modificações hidrodinâmicas podem causar alterações na morfologia da orla costeira. Essas alterações, quando naturais, ocorrem através de processos de acreção e de erosão. Existem modelos que preveem taxas de erosão e acreção e que, relacionando com a agitação marítima e outros parâmetros, dão uma previsão de como a morfologia pode ser alterada.

#### 3.3.1 Inclinação da face de praia

A inclinação da face de praia, usualmente representada pelo seu declive (que se obtém através da tangente da inclinação), é influenciada pela assimetria sedimentar entre o espraio e a ressaca das ondas. Em situações de baixa energia, devido à percolação (passagem lenta da água por um agente filtrante, neste caso, a areia da praia) e ao efeito de atrito no espraio, o retorno tende a ser mais fraco que o espraio. Esta assimetria de forças transporta o sedimento no sentido da costa e devido à inclinação da praia e à por ação da gravidade, acaba por fazer com que a ressaca (ou o retorno) tenha menor capacidade de transporte no sentido do mar. O declive de praia encontra-se em equilíbrio dinâmico quando a quantidade de areia transportada para a praia submersa é igual à quantidade de sedimento transportado para a praia emersa (Komar, 1998). Estudos realizados por diversos autores em todo o mundo, como Bascom (1951), Wiegel (1964), McLean e Kirk (1969), Dubois (1972) entre outros, comprovam este fenómeno, (Figura 5) (Komar, 1998).

Uma vez que este declive, em equilíbrio dinâmico, depende da quantidade de água perdida por percolação o tamanho dos grãos que constituem o sedimento de praia têm, também, uma grande influência. Por exemplo, numa praia de cascalho, a água infiltra-se muito mais rápido do que numa praia de areia, enfraquecendo o retorno e consequentemente formando um declive maior (mais íngreme) do que aquele formado, em condições iguais de energia das ondas, nas praias de areia. Deste modo, em circunstâncias de agitação equivalentes, quando maior forem os sedimentos de uma praia, maior será o seu declive.

---

<sup>4</sup> Zero Hidrográfico (ZH) - Define-se zero hidrográfico como um plano de referência estabelecido abaixo do Nível da Maré Astronómica Mais Baixa (BM<sub>min</sub>). O ZH é a referência utilizada nas cartas náuticas bem como nas previsões de altura de maré publicadas na "Tabela de Marés" do Instituto Hidrográfico. O principal objetivo da sua implementação prende-se com a prática da navegação marítima tendo em vista a sua segurança. O zero hidrográfico é calculado para cada costa podendo ter valores diferentes nos continentes e nas ilhas. Instituto Hidrográfico (2014).

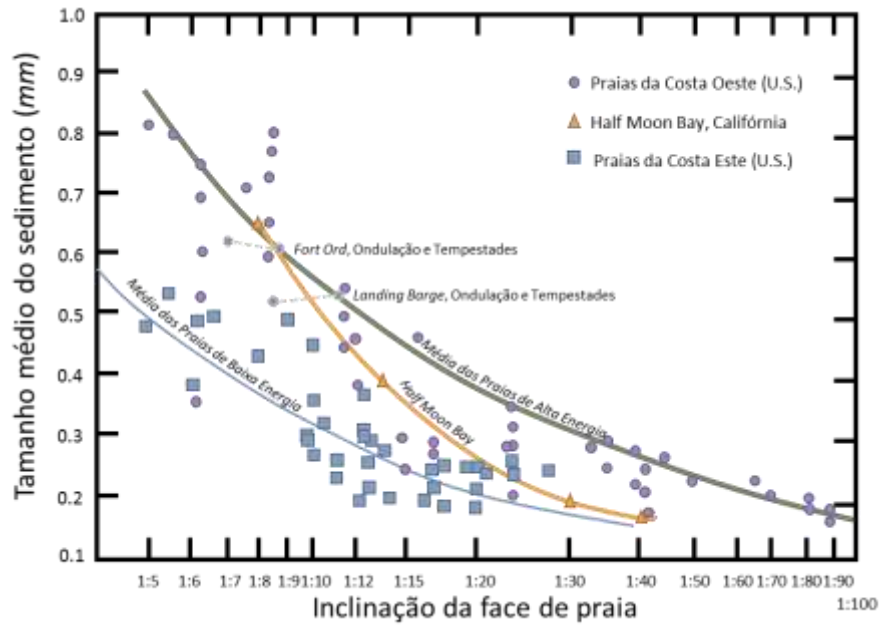


Figura 5: Gráfico representativo da relação entre o tamanho do sedimento e a inclinação da face de praia. Adaptado de Komar (1998).

A calibração dos sedimentos também influencia a taxa de percolação/infiltração de água, pelo que igualmente condiciona o declive da praia. MacLean e Kirk (1969) realizaram experiências de campo na Nova Zelândia e compararam os seus dados com os dados de Shepard (1963), que tinha delineado uma curva média de relação entre o tamanho do grão e a inclinação do domínio intertidal (Figura 6). A Curva de Shepard demonstra uma proporcionalidade direta do tamanho do grão com o declive enquanto a curva resultante dos dados recolhidos por MacLean e Kirk (1969), apresenta uma relação menos linear. Tal deve-se ao facto de nas praias onde foram realizadas as experiências o sedimento ser mal calibrado, ocorrendo mistura de areia com cascalho ou mesmo com seixos. A heterogeneidade de tamanhos do sedimento faz com que a percolação da água seja mais reduzida, levando ao desenvolvimento de um declive menos pronunciado, ao contrário do que se estaria à espera (Figura 6) (Komar, 1998).

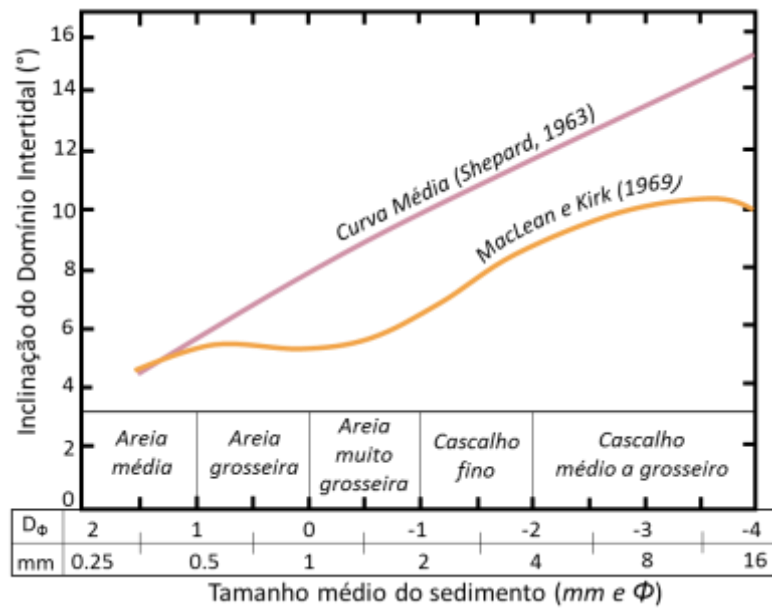


Figura 6: Representação da curva apresentada por Shepard em 1963 onde se mostra a relação entre a inclinação do domínio intertidal e o tamanho médio do sedimento a azul. A laranja observa-se a curva resultante do trabalho de MacLean e Kirk em 1969, na Nova Zelândia, onde se verifica uma relação menos linear do que a proposta por Shepard (1963), devido aos sedimentos mal calibrados característicos das praias em estudo. Adaptado de Komar (1998).

Também Dubois (1972) observou que, em praias com sedimentos onde estavam presentes quantidades consideráveis de minerais pesados, o declive tende a aumentar com o decréscimo do tamanho do grão, contrariamente ao que se observa noutras praias sem a presença de minerais pesados no seu sedimento. Esta observação questiona se a percolação tem um controlo assim tão importante no declive da face de praia.

A relação entre declive de praia e percentagem de minerais pesados notada por Dubois (1972) evidência a dependência direta com a velocidade de sedimentação. Isto porque a maior a densidade destes minerais provoca uma maior a taxa de sedimentação.

Em resumo praias com sedimentos arenosos bem calibrados têm, tendencialmente, declives mais elevados do que praias com sedimentos mal calibrados.

Para além das relações que se podem definir entre o declive da face de praia e as características texturais e composicionais do perfil de praia, existem relações empíricas entre a inclinação da face de praia e as características das ondas.

Em experiências realizadas em tanque de ondas, nas quais se utilizou areia de 0.22 mm de diâmetro, Rector (1954) concluiu que o declive submarino, declive do perfil acima do limite de águas rasas, depende das características da onda em águas profundas, segundo a Equação 1. Nesta equação, o declive em águas rasas ( $S_0$ ) está relacionado com a declividade das ondas em águas profundas, aproximada pela razão entre a sua altura ( $H_0$ ) e comprimento ( $L_0$ ) (estes parâmetros são esclarecidos no capítulo *Apêndices*).

Equação 1

Parâmetros

$S_0 = 0.30 \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.30}$	<p><math>S_0</math> Declive em águas rasas</p> <p><math>H_0</math> Altura da onda em águas profundas</p> <p><math>L_0</math> Comprimento de ondas em águas profundas</p>
---	--

Com a Equação 1 verifica-se que, quanto maior a declividade das ondas, menor a inclinação do perfil acima do limite de águas rasas. Assim, a alteração na declividade das ondas pode induzir uma redução da inclinação de praia, pressupondo que em casos mais extremos poderão provocar a formação de escarpas (Komar, 1998).

Para além da declividade da onda, fatores como a quantidade de energia ou diretamente a altura da onda influenciam o declive da face de praia. Estes parâmetros não explicam por completo a influência dos parâmetros da onda ao largo na definição do declive da face de praia, faltando explicar o papel da velocidade de sedimentação no processo (Komar, 1998).

Uma extensa compilação de dados de campo e laboratório permitiu a Sunamura (1984), a partir da equação de Kemp e Plinston (1968), estabelecer relações entre o declive da praia ( $S_0$ ) e: a altura da onda na rebentação ( $H_b$ ) o período ( $T$ ), a aceleração da gravidade ( $g$ ) e a profundidade ( $D$ ), em condições de laboratório (Equação 2) e de campo (Equação 3) (Komar, 1998).

Parâmetros	
Equação 2	$S_0 = \frac{0,013}{(H_b/g^{1/2}D^{1/2}T)^2} + 0.15$
Equação 3	$S_0 = \frac{0,12}{(H_b/g^{1/2}D^{1/2}T)^{1/2}}$

De acordo com os dados de laboratório (Equação 2), os declives são em média maiores do que os declives naturais (Equação 3). Tal poderá acontecer porque as condições de onda em laboratório são mais controladas e por exemplo não se observam ondas infragravíticas (Komar 1998).

Utilizando a relação presente na equação do comprimento de onda ( $L_0 = (g/2\pi)T^2$ , Equação 10, descrita no capítulo Apêndices) e a relação de Komar e Gaughan (1972) para a altura das ondas na rebentação ( $H_b = 0.39 g^{1/5} (TH_0^2)^{2/5}$ ) em função dos parâmetros em águas profundas, Komar e Gaughan (1972) obtiveram a relação apresentada na Equação 4 (Komar, 1998).

Parâmetros	
Equação 4	$S_0 = 0,25 \left(\frac{D}{H_0}\right)^{0,25} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0,15}$

Esta equação mostra uma dependência inversa entre  $S_0$  e os parâmetros de onda em águas profundas ( $H_0$  e  $L_0$ ) similar à Equação 1 e uma relação direta com o tamanho do grão.

Ainda não se sabe qual das razões adimensionais usadas nas equações anteriores é a mais indicada para estabelecer relações previsíveis, ou que representam processos físicos que controlam o declive da praia. No entanto, têm sido realizados alguns estudos de forma a tornar as equações acima apresentadas mais representativas da realidade (Komar, 1998)

### 3.3.2 Classificação morfodinâmica Wright & Short (1984)

O perfil de praia é um elemento morfológico muito dinâmico que se altera consoante as condições de agitação marítima. Wright & Short (1984) propuseram um modelo para a classificação morfodinâmica, aplicado a praias onde o principal fator de alteração morfológica é a agitação marítima (Komar, 1998). Este modelo descreve três estágios morfodinâmicos da praia em função do número de Dean, das ondas, das correntes, da morfologia e do transporte (Tabela 3). O número de Dean (Dean, 1973) é um parâmetro adimensional de velocidade de sedimentação, que permite prever se uma partícula do sedimento em suspensão, levantada por uma onda, se pode depositar no fundo durante o seu deslocamento em direção à praia Equação 5 (Komar, 1998).

Equação 5

Parâmetros

$\Omega = H_{\infty} / w_s T$	<p><math>\Omega</math> Número de Dean</p> <p><math>H_{\infty}</math> Altura da onda em águas profundas</p> <p><math>w_s</math> Velocidade de sedimentação</p> <p><math>T</math> Período de onda</p>
-------------------------------	---

Tendo em conta os fatores referidos, Wright & Short (1984) definiram as fases dissipativa, refletiva e intermédia para a classificação do litoral baixo arenoso. As características destas fases são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características das principais classificações morfodinâmicas propostas por Wright & Short (1984). Adaptado de Short (1999).

(\*) Conceitos em apêndice.

	CARACTERÍSTICAS	FASE REFLETIVO	FASE INTERMÉDIO	FASE DISSIPATIVO
	Número de Dean	Inferiores a 1	2 a 5	Superior a 6
ONDAS	Tipo de rebentação	Progressiva	Mergulhante	Oscilante
	Número de Irriaben (*)	Superior a 5	5 a 0.64	Inferiores a 0.64
	Número de ondas na rebentação	1	1 a 3	Superior a 3
	Refletividade das ondas	Elevada	Moderada	Baixa
	Energia relativa das ondas	Baixa	Média	Alta
CORRENTES	Em planta (*)	<i>On-offshore</i>	Em células	<i>On-offshore</i>
	Em perfil (*)	Espraio e ressaca	<i>Onshore</i> nas barras e em direção ao mar nas zonas de correntes de retorno	Ondas superficiais com formação de novelos ( <i>wave bore</i> ) e correntes de retorno junto ao fundo
MORFOLOGIA	Perfil de praia	Íngreme	Rítmico	Suave
	Barras	Inexistentes	Rítmicas	Múltiplas e paralelas
	Inclinação da face de praia	Superior a 4°	2° a 6°	Inferiores a 2°
	Presença de cúspides	Comum	Comum nos topos das Megacúspides	Raro
	Presença de Megacúspides	Ausentes	Comum	Raro
TRANSPORTE	Longitudinal	Baixo	Médio	Elevado
	Transversal	Baixo	Médio	Elevado
	Tipo	De fundo	Híbrido	Em suspensão
	Textura	Média a grosseira	Fina a média	Fina
	Mobilidade da linha de costa	Baixa (inferior a 10 m)	Elevada (superior a 10m)	Baixa (inferior a 10 m)
	Mobilidade da alta praia	Baixa	Moderada	Elevada

Em resumo:

- A fase dissipativa é representada por uma zona de rebentação bem desenvolvida com rebentação tipicamente progressiva, com pouca variação no declive da face de praia e presença de bancos de areia. A agitação marítima característica é de elevada energia, podendo durante alguns períodos ocorrer ondas com alturas maiores do que o usual e erosão na alta praia (Wright & Short, 1984).
- A fase refletiva é caracterizada por um declive suave e uma zona de rebentação de largura reduzida, fazendo com que o colapso das ondas se dê na face de praia, gerando uma grande turbulência (Wright & Short, 1984).
- Os estágios intermédios reúnem todas as praias que apresentem características de transição entre os estádios dissipativos e refletivo (Wright & Short, 1984).

### 3.3.3 Modelo de acreção e erosão de Sunamura (1985)

O modelo de Sunamura (1985) consiste em oito fases de classificação morfológica em que duas são extremos: a fase de acreção e a fase de erosão, e seis são fases de transição entre os extremos (Equação 6). Para definir os diferentes estágios utiliza-se o parâmetro adimensional  $K_*$ , calculado através da Equação 6 que foi estabelecida em experiências realizadas em laboratório.

Equação 6	Parâmetros
$K_* = \frac{\bar{H}_b^2}{g\bar{T}^2D}$	<p><math>K_*</math> Parâmetro de Sunamura</p> <p><math>\bar{H}_b</math> Média diária da altura das ondas na rebentação</p> <p><math>\bar{T}</math> Média diária do Período das ondas na rebentação</p> <p><math>D</math> Tamanho médio do sedimento</p> <p><math>g</math> Aceleração da gravidade</p>

Este modelo aplica-se a praias microtidais com agitação marítima entre média a forte, com inclinações variáveis entre  $1/50$  e  $1/200$  e areia com diâmetros entre 0.1 e 2 mm, com transporte predominantemente longitudinal.

Sunamura descreve uma sequência acrecionária, que corresponde à acreção de sedimentos à praia passando pelas fases 2, 3 e 4 onde se verifica uma migração e ligação da lomba na praia. Esta sequência ocorre quando os valores de  $K_*$  são baixos ( $5 < K_* \leq 20$ ); no caso de a lomba já estar soldada à praia e  $3.5 \leq K_* \leq 10$  atinge-se o extremo de acreção (Figura 7).

Por outro lado, quando as condições de agitação promovem eventos erosivos, com  $K_*$  superiores ou iguais a 10 (na fase 6) ou superiores ou iguais a 20 (nas restantes fases) da sequência erosiva. A evolução morfológica nesta sequência é caracterizada pela formação de uma lomba que migra em direção ao mar (fases 6 a 8) (Figura 7).

Este modelo prevê a formação de escarpas de praia no início de fases erosivas (fase 6) com  $K_*$  superior a 10, podendo-se concluir que a formação de escarpa pode não ocorrer nas fases onde se verifica o máximo de erosão, mas sim em fases iniciais onde acontece a transição de uma fase acrecionária para erosiva.



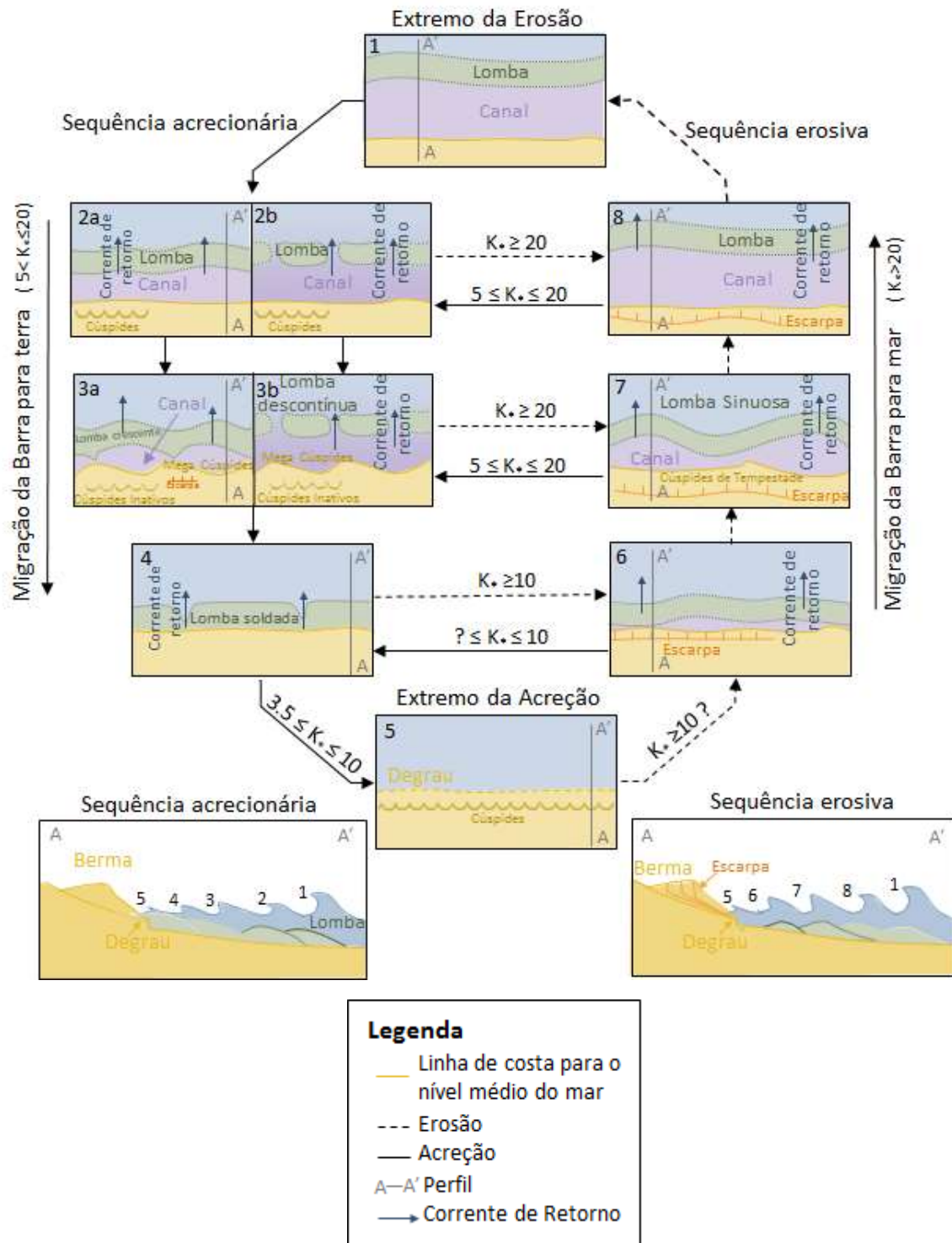


Figura 7: Esquema representativo dos vários estágios do modelo de Sunamura (1985). Sequência acrecionária (1, 2, 3, 4 e 5); Sequência erosiva (1, 8, 7, 6 e 5). Adaptado de Short (1999).

### 3.4 Formação de escarpas de praia

Existe a possibilidade de formação de escarpas tanto na berma como na duna, sendo estes os elementos mais propícios a este tipo de erosão devido à sua morfologia natural com uma inclinação superior à dos restantes elementos da praia. A formação de escarpas na berma é a mais comum, devido à sua menor altura em comparação com a duna, e também porque os sedimentos são mais facilmente remobilizados devido à ação do espraio (Bonte, 2013). Assim, o local de formação da escarpa ocorre consoante a hidrodinâmica local, dependendo em grande parte do tipo de atuação da maré (macro, meso ou microtidal) e da magnitude da maré vigente na altura (marés-vivas ou marés mortas).

#### 3.4.1 Formação de escarpas de praia (na berma)

Sabe-se que o que contribui para o escapamento da berma é o controlo oceanográfico e o controlo estrutural. O primeiro tipo de controlo consiste na ação longitudinal do espraio, bem como o seu efeito de alisamento e a ação das correntes de maré, e o segundo no congelamento e estratificação laminada da berma, sulcos de veículos, estruturas de proteção costeira e modificação do declive do perfil de praia (Figura 8) (Bonte, 2013).

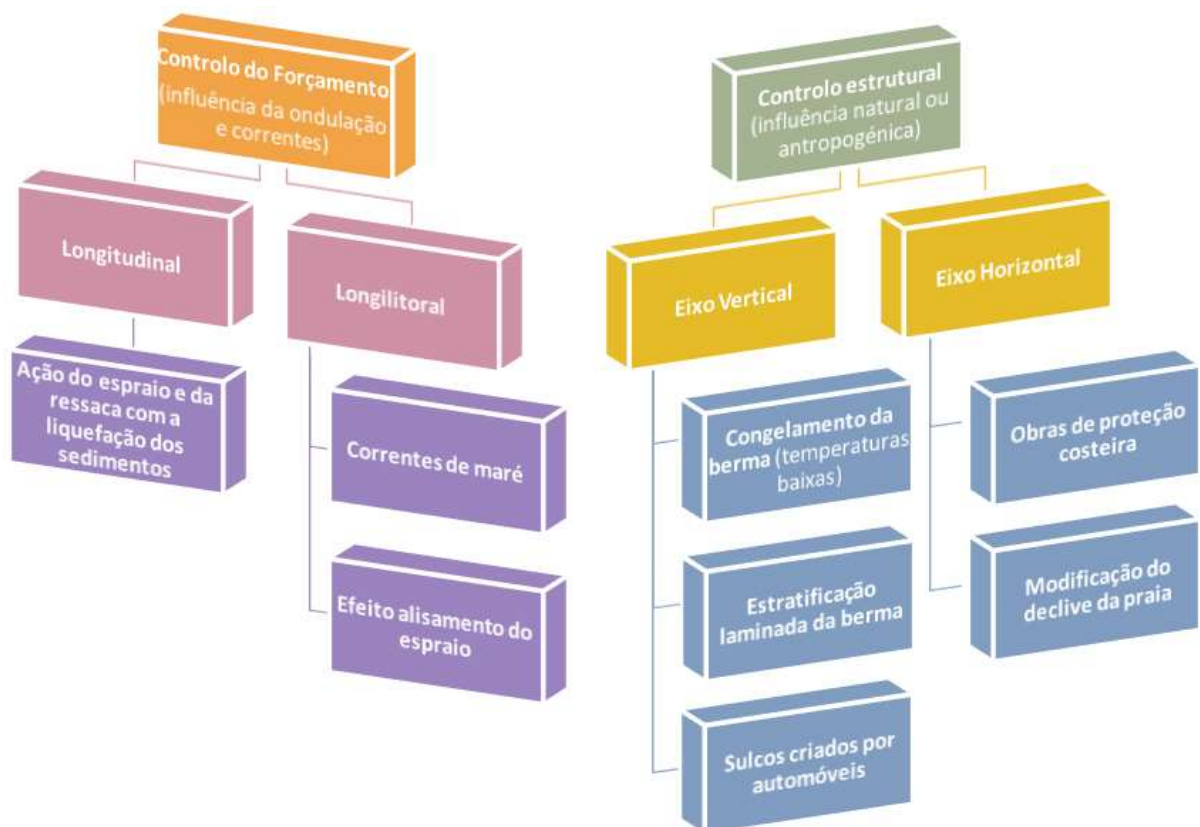


Figura 8: Esquematização dos principais fatores que contribuem para a formação de escarpas de praia. Adaptado de Bonte (2013).

### 3.4.1.1 Controlo por forçamento

Os agentes forçadores de erosão mais importantes para as alterações morfológicas, a curto prazo do litoral baixo arenoso, são a agitação marítima, as correntes litorais, a sobrelevação meteorológica e a maré (Dias, 1993). Em eventos de tempestade, os agentes referidos intensificam-se causando maior dano num curto período de tempo.

Estudos realizados por Katoh e Yanagishima (1992) demonstram que a corrente transversal é importante na formação da escarpa de praia pela sua capacidade de transporte de sedimentos. A localização da corrente longitudinal (sobre a berma) pode também estar relacionada com a posição do nível freático, provocando uma erosão maior devido à saturação do solo. Assim cria-se uma descontinuidade devido à elevada erosão, que possibilita a formação da escarpa pela ação do espraio que move os sedimentos para a parte inferior da praia (Figura 9a) (Katoh e Yanagishima, 1992). Com a evolução do perfil de praia, em resposta a condições de tempestade, a face da berma começa a perder sedimentos devido ao deslizamento provocado pela liquefação do solo (por saturação tanto por parte do nível freático como pela percolação da água transportada pelo espraio) e por colapso, provocado pela falta de sustentação da berma (Figura 9b).

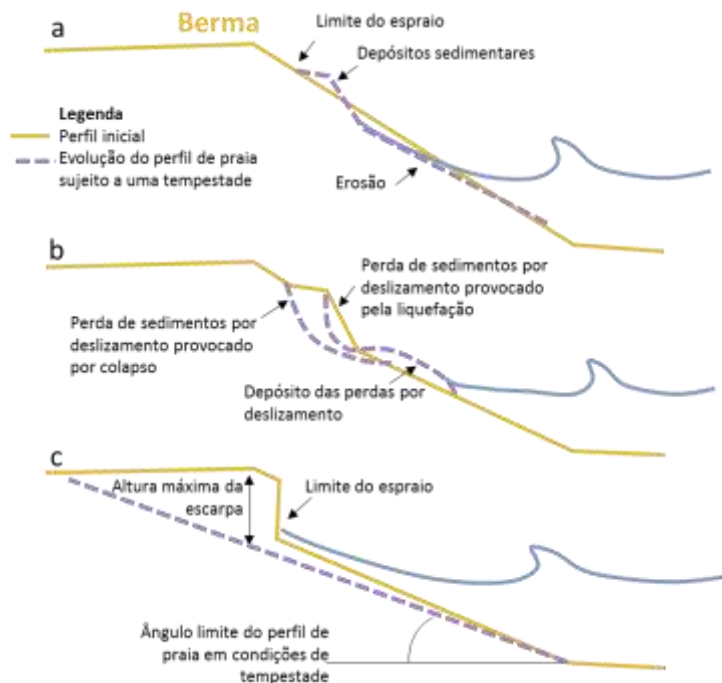


Figura 9: Esquema dos estágios de formação de escarpas de praia. Modelo Katoh e Yanagishima (1992) e imagem adaptada de Bonte (2013).

Quanto mais tempo o limite de espraio atuar num determinado local, maior é a erosão provocada, coincidindo este local com a base da escarpa (Figura 9c). Com o decorrer da ação das ondas, o perfil de praia tende a perder a berma uma vez que esta acaba por ser totalmente erodida.

As correntes longitudinais também são importantes no processo de geração de escarpas, pois induzem transporte sedimentar capaz de levar à formação de escarpas (Bonte, 2013). O ângulo de ataque das ondas influencia o transporte longitudinal e também o ângulo de incidência do espraio. Se este ângulo for considerável em relação à orientação da praia, o espraio terá um maior efeito “limpa-vidros” (*grazing swash*) numa maior área de ação. O início da destruição lateral da base da alta praia pela corrente longitudinal ocorre à semelhança da destruição lateral que se dá durante a erosão nas margens dos rios. As correntes longitudinais

também são muito influenciadas pela presença de estruturas de proteção costeira, construídas transversalmente à praia, pois estas provocam a reflexão das ondas incidentes, aumentando localmente a altura das ondas e o ângulo de incidência das mesmas, promovendo assim um maior *grazing swash* e, consequentemente, aumentando o potencial de formação de escarpas.

#### 3.4.1.2 Controlo estrutural

Entende-se como controlo estrutural todos os elementos da praia cujas características podem ser alteradas com o tempo e com o forçamento, sendo os principais elementos a granulometria, tipo e compactação do sedimento, assim com o teor em água e a temperatura do ar. Em zonas de elevadas latitudes onde ocorrem invernos com temperaturas negativas, tem de se ter em conta o congelamento da água retida nos interstícios entre os grãos do sedimento da alta praia, que impermeabiliza essa zona, tornando-a mais resistente à ação das ondas e do espraio (Bonte, 2013).

Entre a zona onde ocorre a congelação (zona impermeabilizada) e a zona onde a maré e o espraio estão sempre a atuar, cria-se uma área mais frágil por estar sempre a ser trabalhada pelas ondas que potencia a formação de escarpa (Bonte, 2013).

Também a compactação de sedimento pode influenciar a resposta da berma à ação do espraio. Sedimento com um menor nível de compactação é mais fácil de mobilizar, sendo o primeiro a ser transportado pela ação do espraio/ressaca. Se a berma apresentar verticalmente diferentes compactações, as zonas onde a compactação é menor serão as primeiras e mais intensamente erodidas, resultando assim numa instabilidade que pode dar origem à formação de escarpas de praia na berma (Bonte, 2013).

#### 3.4.2 Formação de escarpas na duna

Em condições extremas de forçamento oceanográfico (ocorrência de sobrelevação meteorológica e/ou maré alta e/ou elevada agitação marítima), a ação das ondas pode chegar à duna, causando também erosão e escarpamento. Devido à sua configuração, distinta relativamente à berma, os mecanismos de formação de escarpa na duna são diferentes dos da erosão da berma. Sunamura (1992) descreveu algumas formas de erosão na base de arribas que dão origem a escarpas, podendo ser usadas como analogia para a erosão de dunas (Nishi e Kraus, 1996).

- Erosão por camadas (Figura 10a): Em dunas com uma estrutura definida por níveis com diferentes granulometrias e graus de compactação, a ação das ondas tem maior impacto nas camadas mais frágeis, assim como junto aos limites entre camadas, que se constituem como zonas de fraqueza. A contínua ação do espraio, e consequente remoção de sedimentos leva à instabilidade que, no limite, provoca o colapso de partes da duna que se depositam no seu sopé. A queda de porções da duna também pode ocorrer por movimentos basculantes, caso as zonas de fraqueza verticais sejam mais importantes do que as horizontais (Figura 10b).
- Erosão de entalhe e subsidência (Figura 10c): Os entalhes numa duna podem ocorrer de dois modos: por camadas com diferentes compactações ou devido à presença de plantas que criam espaços devido às suas raízes. Quanto esta instabilidade deixa de ser negligenciável, provoca a face da duna sofrer colapso, depositando os sedimentos na sua base.
- Erosão por liquefação e fluxo (Figura 10d): este tipo de erosão tende a ocorrer em dunas pouco compactadas e com as faces pouco íngremes. A erosão pode ocorrer com impactos de ondas não muito violentos, ou mesmo devido à precipitação e/ou vento forte. Este tipo de forçamento faz com que uma fina camada de sedimento flua pela face da duna. Esta forma de erosão contribui para a

redução do declive da duna e para a estabilização da mesma, não modificando muito a sua configuração, e evitando o recuo considerável da linha de costa.

Estes mecanismos podem ocorrer individualmente ou em conjunto (Nishi e Kraus, 1996).

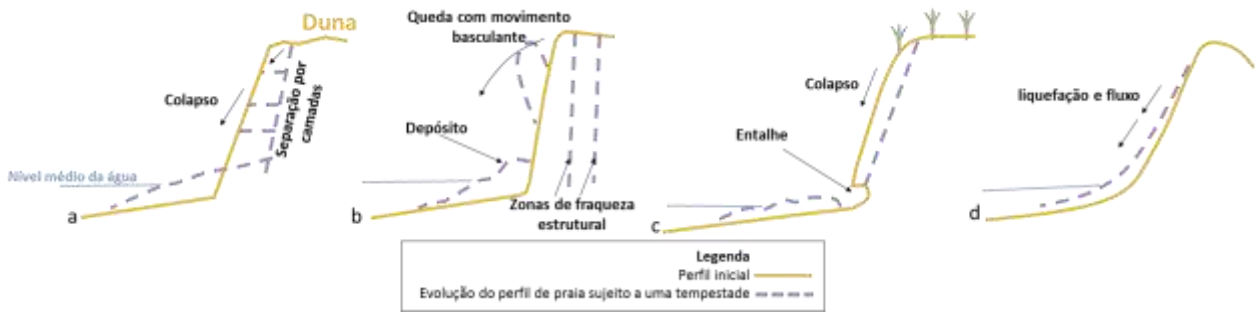


Figura 10: Esquematisação dos vários fenómenos que podem originar escarpas em dunas. Adaptado de Nishi e Kraus, 1996.

Contrariamente ao que se pode afirmar em relação à formação de escarpas de praia na berma, não existem ainda evidências de que as correntes longitudinais sejam importantes para este tipo de escarpamento.

No que toca à evolução da escarpa após a sua formação, Palmsten e Holman (2012) realizaram ensaios sobre a erosão dunar, em tanques de ondas, e propuseram duas hipóteses de evolução de escarpas em dunas:

- Os níveis altimétricos da base da duna mantêm-se estáveis mesmo sofrendo erosão;
- Devido à erosão ocorre o recuo na base da duna bem como o aumento de cota da mesma. Esta última hipótese é parametrizada através da Equação 7.

Equação 7

Parâmetros

$Z_b(t) = \beta(t)x(t) + Z_b(0)$	<p><math>Z_b(t)</math> Cota da base da escarpa no instante t</p> <p><math>Z_b(0)</math> Cota da base da escarpa no instante inicial</p> <p><math>\beta(t)</math> Inclinação da praia no instante t</p> <p><math>x(t)</math> Distância da base da escarpa ao ponto inicial no instante t</p>
----------------------------------	---

Este trabalho indica que existe uma diferença de  $0.54^\circ$  entre o ângulo da base da duna e o declive inicial da praia (Palmsten e Holman, 2012), ao contrário do proposto por Larson (2004) que indica que a base da duna recua com um ângulo similar ao ângulo inicial da face de praia. Existe ainda, atualmente, muita informação contraditória em relação a este assunto.

### 3.4.3 Formação e evolução de escarpas de praia

A dificuldade na recolha de dados de perfis de praia e de agitação marítima durante episódios de tempestades, faz com que a formação de escarpas seja essencialmente estudada em laboratório através de modelação análoga, em tanques de ondas a escalas reduzidas, ou por métodos de modelação numérica. Estas técnicas de investigação proporcionam, essencialmente, uma noção do comportamento da escarpa ao longo do perfil transversal à linha de costa. No entanto, a formação de escarpas de praia também tem uma forte componente

longitudinal de transporte de sedimentos, muitas vezes de grande importância, que não é alvo de modelação. Assim, associando as limitações dos modelos físicos e numéricos à falta de dados morfológicos da praia e de agitação durante eventos de tempestade, o conhecimento sobre a formação e evolução de escarpas é, ainda, reduzido.

Ainda assim, existem algumas experiências sobre a realização de relevos de escarpa em condições de tempestade, onde se pretende simular a formação de escarpas de praia. O resumo das principais experiências encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4: Resumo de experiências sobre a formação de escarpas de praia *in situ*. Fonte: Bonte 2013.

EXPERIÊNCIAS SOBRE A EVOLUÇÃO DE ESCARPAS DE PRAIA <i>IN SITU</i>	
<b>FISHER ET AL., (1986)</b>	Experiência realizada nos EUA, na Carolina do Norte, onde se simulou a erosão de um relevo com uma configuração idêntica a uma escarpa com dimensões de 1.3 m de comprimento e 1 m de altura. Foram utilizadas câmaras para a monitorização do comportamento do relevo. Os resultados obtidos mostram que o volume de sedimento erodido não depende da força de cada impacto, contrariando os resultados no tanque de ondas de Young (1986) mas sim do somatório das forças dos impactos.
<b>KUBOTA ET AL., (1997)</b>	Experiências realizadas na praia Hasaki no Japão com a uma berma artificial com dimensões de 20 m de largura, 30 m de comprimento e cerca de 1 m de altura, tendo como objetivo a determinação a taxa de erosão devido ao efeito do espraio. Nesta campanha ocorreu a formação de uma escarpa com cerca de 50 cm de altura. A taxa de transporte de sedimentos foi semelhante à de um perfil de praia linear.
<b>SEYMOUR ET AL., (2004)</b>	Experiências realizadas em Torrey Pines State Park na Califórnia com a construção de uma berma artificial com 600 m de comprimento e 2 m de altura. Estes autores verificaram que a formação e evolução da escarpa da praia só começou após o galgamento da berma artificial criando um canal com transporte longitudinal que facilitou a erosão da escarpa de praia. Os modelos numéricos SBEACH e Delft3D falharam para a previsão desta escarpa.
<b>BONTE (2013)</b>	Experiência realizada incidiu na construção de uma berma artificial com 35 m de comprimento e 1 m de altura na praia Luc-sur-Mer (Normandia, França), durante eventos de marés vivas e tempestuosas. Utilização de instrumentos como DGPS <sup>5</sup> , <i>scanner</i> terrestre captura de vídeo e transdutores para aquisição de dados do relevo e da agitação marítima. Concluíram que o nível da maré controla a evolução da escarpa, assim como o ângulo de ataque das ondas incidentes. Relacionaram a erosão da escarpa com o número de impactos de espraio no relevo e concluíram que a relação não é constante, mas que a base da escarpa migrava para terra com o aumento da maré mesmo quando o número de impactos era constante.

As experiências *in situ* citadas na Tabela 4, embora não respondessem completamente à problemática de geração de escarpas de praia, permitiram a calibração de vários modelos existentes (originados por modelação análoga e numérica). Na Tabela 5 reúnem-se as equações mais importantes para o cálculo de parâmetros

<sup>5</sup> DGPS RTK - O DGPS RTK utiliza o *Sistema de Posicionamento Global*, que nos dá o posicionamento em tempo real, e o *Sistema Real Time Kinematic* que se associa ao GPS para aumentar a sua precisão, utilizando estações em terra para que sejam feitas correções de posicionamento em tempo real.

essenciais para a formação de escarpas, sendo que descrições mais detalhadas sobre estes trabalhos podem ser averiguadas em Bonte (2013) e respectivas referências.

Após a formação de escarpa os parâmetros que controlam a sua evolução são o número de espraços que atingem os relevos e a velocidade dos mesmos, bem com a sua probabilidade de ocorrência de acordo com Tabela 5.



Tabela 5: Equações mais importantes para o cálculo de parâmetros essenciais para a formação de escarpas. Fonte: Bonte (2013).

AUTORES	EQUAÇÕES	PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
FISHER ET AL., (1986) OVERTON ET AL., (1988) NISHI E KRAUS (1996)	$\Delta W = C_e F$	$\Delta W$ Volume de sedimento erodido ao longo da costa $C_e$ Coeficiente empírico $F$ força de impacto do espraio na escarpa	Teoria do impacto das ondas. Permite o cálculo do volume do sedimento erodido em função da força de impacto do espraio e do coeficiente empírico.
	$\Delta W = \Delta V \rho_s (1 - p)g$	$\Delta W$ Volume de sedimento erodido ao longo da costa $\Delta V$ Volume erodido do relevo $\rho_s$ Densidade do sedimento $p$ Porosidade da areia	Teoria do impacto das ondas modificada, para que entre em conta o volume de sedimentos erodido pela ação do espraio no relevo, bem como a densidade do sedimento e a porosidade da areia.
CROSS (1967) MILLER (1968)	$u_{in} = C_u \sqrt{g h_{in}}$	$u_{in}$ Velocidade do espraio $C_u$ Coeficiente empírico $g$ Aceleração da gravidade $h_{in}$ Altura do espraio	Cálculo da velocidade do espraio utilizando um coeficiente empírico que depende da resistência à fricção (entre 1 e 2)
	$F = \rho u_{in}^2 h_{in}$	$F$ força de impacto do espraio no relevo $\rho$ Densidade da água $u_{in}$ Velocidade do espraio $h_{in}$ Altura do espraio	Cálculo da força de impacto do espraio, através da sua velocidade e altura
	$\Delta V = 4C_s (R - z_b)^2 t/T_p$	$\Delta V$ Volume erodido do relevo $C_s$ Coeficiente empírico $R$ Run-up $z_b$ Cota da base da escarpa $t$ Intervalo de observação $T_p$ Período de pico das ondas $t/T_p$ Número de ondas utilizado na estimativa do número de impactos no relevo	Cálculo de volume erodido do relevo. Esta fórmula contém menos parâmetros empíricos o que permite diminuir o erro de cálculo, no entanto não entra em conta com as variações temporárias do nível do mar, como a maré e a sobrelevação meteorológica.



Tabela 5: Equações mais importantes para o cálculo de parâmetros essenciais para a formação de escarpas. Fonte: Bonte (2013).

AUTORES	EQUAÇÕES	PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
LARSON (2004)	$\Delta V = 8 \frac{C_s}{T_p} \left( \frac{R_T^2}{2n+1} \left( \frac{T_s}{2} - \left( \frac{2t_L}{T_s} \right)^{2n} t_L \right) - 2 \frac{R_t z_d}{n+1} \left( \frac{T_s}{2} - \left( \frac{2t_L}{T_s} \right)^n t_L \right) + z_d^2 \left( \frac{T_s}{2} - t_L \right) \right)$	<p><math>C_s</math> Coeficiente empírico</p> <p><math>T_p</math> Período de pico das ondas</p> <p><math>R_T</math> Soma das amplitudes de variação do run-up e do nível da água durante o período de modelação</p> <p><math>T_s</math> Duração do período de modelação</p> <p><math>t_L</math> momento do primeiro impacto</p> <p><math>z_d</math> Cota da base da escarpa no início da modelação</p> <p><math>n</math> Coeficiente empírico</p>	<p>Cálculo de volume erodido do relevo, que já inclui as variações temporárias do nível do mar. Entra em conta com o coeficiente empírico <math>n</math> que depende da evolução do nível da água:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>n</math> inferior a 1: evolução do nível da água de acordo com uma curva côncava.</li> <li><math>n</math> igual 1: evolução linear do nível da água</li> <li><math>n</math> superior a 1: evolução do nível da água de acordo com uma curva convexa</li> </ul>
PALMSTEN E HOLMAN (2012)	$N_c = [P (z_R + z_{SWL} > z_b)]^t / T_p$	<p><math>N_c</math> número de impactos no relevo</p> <p><math>z_R</math> Cota da soma do run-up e backwash com o set-up</p> <p><math>z_{SWL}</math> Nível da água</p> <p><math>z_b</math> Cota da base da escarpa em relação ao declive inicial da praia</p>	<p>Fórmula melhorada de Larson (2004), o número de impactos ou colisões no relevo é calculado pela probabilidade (P) de determinado número de ondas atingir a base do relevo.</p> <p>Não tem em conta fenómenos de mitigação da zona de rebentação como o caso do <i>backwash</i>.</p>
BONTE (2013)	$\Delta V = 4C_s (k_d \times R2_{SHHS06} - z_b)^2 N_i$	<p><math>\Delta V</math> Volume erodido do relevo</p> <p><math>C_s</math> Coeficiente empírico</p> <p><math>k_d</math> Coeficiente empírico</p> <p><math>R2_{SHHS06}</math> Run-up calculado a partir das observações em Luc-sur-Mer</p> <p><math>z_d</math> Cota da base da escarpa no início da modelação</p> <p><math>N_i</math> Número de impactos</p>	<p>Fórmula que resulta da conjugação da fórmula de Larson (2004) e da de Palmsten e Holman (2012), calibrada com dados das campanhas em Luc-sur-Mer.</p>

As fórmulas apresentadas na tabela 6, com exceção de Bonte (2013), são resultado de experiências análogas em laboratório, em condições de experimentação controladas, pelo que não englobam todos os fatores que podem influenciar a formação de escarpa.



## 4 Métodos

Para aumentar o conhecimento sobre os processos associados à geração de escarpas de praia por ação da agitação marítima foram realizadas várias campanhas de campo e sintetizados dados relevantes existentes em base de dados de referência (CISML-ARH Tejo <sup>6</sup> e praia de Narrabeen).

Este capítulo encontra-se dividido em três secções:

1. Análise dos processos associados ao desenvolvimento de escarpas de praia à microescala temporal (segundos a horas) com base na interpretação de dados de campo exclusivos;
2. Compilação e análise de dados utilizando a base de dados da ARH Tejo (Andrade et al., 2013);
3. Análise de dados utilizando a base de dados de Narrabeen (Turner et al., 2016).

### 4.1 Trabalhos de campo: Evolução da escarpa de praia à microescala

Foram realizadas quatro campanhas com os objetivos de monitorizar a evolução de relevos artificiais construídos na face de praia e de relacionar a sua evolução com a agitação marítima incidente no local da experiência. O critério escolhido para selecionar os dias das campanhas foi a sua proximidade com marés vivas. Os relevos foram contruídos com o intuito de simular faces de praia com diferentes inclinações e, por isso, foram construídos com inclinação paralela à inclinação média da face de praia (Figura 11). O declive de cada relevo foi determinado considerando-se a inclinação original da praia onde foi realizada a campanha para se verificar o efeito produzido pela alteração da inclinação relativamente à de referência. Para monitorizar a evolução dos relevos, foram colocadas estacas graduadas e foram realizadas medições de 10 em 10 minutos, no local ou por análise de fotografias tiradas. Para a georreferenciação das estacas e outros equipamentos, foi utilizado um DGPS em modo RTK. A medição da velocidade de espraio foi realizada através de gravações em vídeo utilizando estacas de referência (colocadas a uma distância conhecida).

---

<sup>6</sup> Projeto CISML - Consultoria para a Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral abrangido pela área de Jurisdição da ARH do Tejo.



Figura 11: Exemplo dos relevos realizados nas campanhas. Relevos da campanha de Tróia.

Todas as experiências foram dadas como terminadas quando ocorreu a destruição de mais de  $\frac{2}{3}$  dos relevos.

As campanhas realizadas tiveram objetivos ligeiramente diferentes, que são explicitados em seguida.

#### 4.1.1 Campanhas Cruz Quebrada (CQ1 e CQ2)

As duas primeiras campanhas foram realizadas em 27/10/2015 e 23/11/2015 na praia da Cruz Quebrada, no concelho de Oeiras distrito de Lisboa, na costa Oeste de Portugal (Figura 12).

##### 4.1.1.1 Enquadramento geomorfológico e oceanográfico

Esta praia tem cerca de 300 m de extensão e encontra-se situada na margem direita do rio Tejo, junto à foz do rio Jamor. A praia tem como limite terrestre uma estrutura artificial (a estação de comboios), não apresenta berma e é composta por uma primeira camada superficial de areia fina a média e uma segunda de cascalho. A presença de molhes construídos ao longo da costa favoreceu a acumulação de sedimentos na praia da Cruz Quebrada, mas devido a fortes tempestades que ocorreram no ano 1983, alguns desses molhes ficaram danificados (eGiamb, 2010). Segundo Wright e Short (1984) esta praia pode ser classificada como intermédia. A área de estudo localiza-se na entrada do estuário do Tejo.



Figura 12: Enquadramento das campanhas da Cruz Quebrada. Enquadramento geral (a) e enquadramento do local da experiência (b).

(Imagens Basemap Imagery ArcGis 10.2.2©)

#### 4.1.1.2 Descrição de trabalhos de campo 27/10/2015 (CQ1)

O pico de preia-mar de dia 27 de outubro de 2015 ocorreu às 14:59 e, por essa razão, iniciou-se a construção dos relevos pelas 10:00. O início da monitorização ocorreu às 11:00, terminando às 11:45.

Foram construídos três relevos com inclinações distintas relativas ao plano horizontal para barlamar. A inclinação inicial da praia medida foi de 10°. As dimensões e declives dos relevos encontram-se registados na Tabela 6 e a representação dos declives encontra-se na Figura 13.

Tabela 6: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da primeira campanha.

RELEVO	ALTURA (m)	COMPRIMENTO (m)	PROFUNDIDADE (m)	INCLINAÇÃO INICIAL APROXIMADA (°)	DECLIVE INICIAL
1	0.50	1,60	1,80	30	0.51
2	0.45	1,20	1,10	25	0.41
3	0.40	1,60	1,20	20	0.26

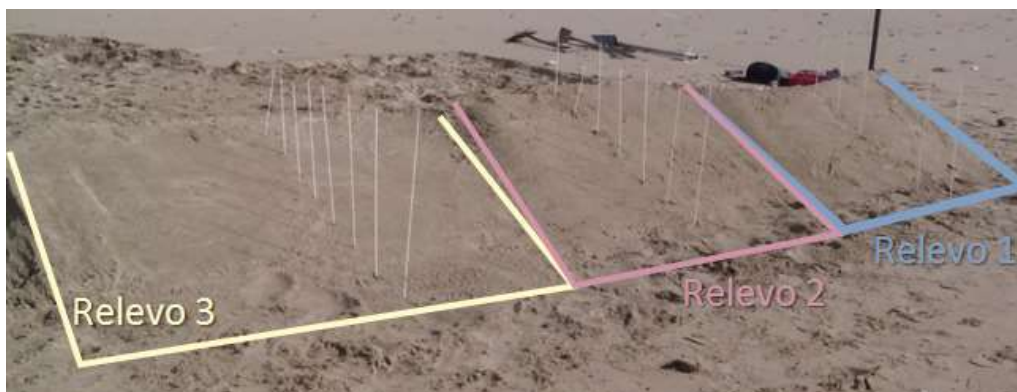


Figura 13: Representação dos relevos no início da experiência na campanha CQ1.

Para medir a evolução morfológica dos relevos foram colocadas oito estacas no Relevo 3, sete estacas no Relevo 2 e seis estacas no Relevo 1. Colocou-se uma estaca com a referência PG600, a fim de se poder estimar a velocidade do espraio na face de praia com base em gravações de vídeo.

Nesta campanha, não foram utilizados transdutores de pressão para o registo de dados de agitação marítima pois a mesma apresentava condições energéticas que poderiam por em causa a integridade do equipamento.

#### 4.1.1.3 Descrição de trabalhos de campo 23/11/2015 (CQ2)

A segunda campanha ocorreu no dia 23 de novembro de 2015 e a monitorização teve início às 10:42, após a construção de dois relevos com inclinações e morfologias diferentes. Às 10:46 as ondas tocaram pela primeira vez na base dos relevos. A experiência terminou às 11:43, com a destruição quase total dos relevos. As dimensões e declives dos relevos construídos encontram-se registados na Tabela 7. Para além das características morfológicas diferentes, o Relevo 2 foi construído de forma a ter o topo plano enquanto o Relevo 1 tinha uma inclinação constante (Figura 14).

Tabela 7: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da segunda campanha.

RELEVO	ALTURA (m)	COMPRIMENTO (m)	PROFUNDIDADE (m)	INCLINAÇÃO INICIAL APROXIMADA (°)	DECLIVE INICIAL
1	0.50	1,82	1,54	25	0.35
2	0.30	1,60	2.02	20	0.18



Figura 14: Representação dos relevos no início da experiência na campanha CQ2.

Para medir a evolução morfológica dos dois relevos foram colocadas onze estacas no Relevo 1, e nove estacas no Relevo 2 com espaçamento de cerca de 0.20 m. Foi usando também um transdutor de pressão para se obter valores de agitação marítima *in situ*.

Foi monitorizada a velocidade de espraio pelo mesmo método da campanha anterior.

#### 4.1.2 Campanha S. Pedro do Estoril (SPE)

A campanha realizou-se na Praia de S. Pedro do Estoril, no concelho de Cascais, costa oeste portuguesa (Figura 15).



Figura 15: Enquadramento geográfico da Campanha de S. Pedro do Estoril. Enquadramento geral (a) e enquadramento do local da experiência (b). (Imagens Basemap Imagery ArcGis 10.2.2©)

##### 4.1.2.1 Enquadramento geomorfológico e oceanográfico

A praia de S. Pedro do Estoril localiza-se na enseada da Bafureira, entre o promontório da Pedra do Sal, a norte, e a praia da Bafureira, a sul. Este promontório é composto por calcários compactos com idade cretácica, sendo toda a envolvente da praia de S. Pedro do Estoril composto por arenitos do belassiano de idade cretácica inferior (Agência Cascais Atlântico, 2012). A praia assenta sobre formações rochosas de idade cenozoica. Segundo Wright e Short (1984), no que respeita ao contínuo morfodinâmico que reflete o modo de dissipação da energia das ondas esta praia pode ser classificada com intermédia, havendo a possibilidade da presença de sistemas de barra e canal.

Em relação à agitação marítima sabe-se que esta região é abrigada, não sendo diretamente afetada pela agitação marítima gerada no oceano Atlântico Norte (Agência Cascais Atlântico, 2012). A praia apresenta uma extensão de 300 metros.

##### 4.1.2.2 Descrição de trabalhos de campo 11/03/2016

Esta realizou-se em conjunto com outros investigadores do IDL (Ana Silva e Umberto Andriolo), tendo como objetivos paralelos monitorizar as variações morfológicas do perfil de praia ao longo de um ciclo de maré, e validar medições de celeridade e *run-up* das ondas efetuadas através de vídeo-monitoração. A terceira campanha realizou-se no dia 11 de março de 2016, sendo que o pico de preia-mar ocorreu às 14:38. Após a construção de 3 relevos o início da experiência ocorreu às 13:51 e terminou às 15:51.

Foram construídos três relevos com inclinações distintas relativas ao plano horizontal para barlamar, descritas na Tabela 8 e representados na Figura 16.



Tabela 8: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da terceira campanha.

RELEVO	ALTURA (m)	COMPRIMENTO (m)	PROFUNDIDADE (m)	INCLINAÇÃO APROXIMADA (°)	INICIAL	DECLIVE INICIAL
1	0.40	2	2	12		0.20
2	0.64	2	2	21		0.36
3	0.51	2	2	15		0.26



Figura 16: Representação dos relevos no início da experiência na campanha SPE.

Foram colocadas seis estacas no Relevo 1 espaçadas em 0.20 m, oito estacas no Relevo 2 espaçadas em 0.50 m, e seis estacas no Relevo 3 espaçadas em 0.35 m. A praia teria uma inclinação inicial de cerca de 10°.

Nesta campanha e na seguinte, foram tiradas fotografias a cada relevo de modo a ser bem visível cada estaca individualmente. Posteriormente, utilizando o *software AutoCad*®, as estacas foram medidas, uma a uma utilizando sempre como referência, a graduação de cinco centímetros existente em cada estaca.

Foi também realizada a análise da velocidade de espraio e de agitação marítima com mesmo procedimento das campanhas anteriores.

#### 4.1.3 Campanha Tróia (T)

A quarta, e última campanha, realizou-se no dia 20 de maio do ano de 2016 na praia de Tróia-Galé, em Tróia, distrito de Setúbal, Portugal (Figura 17 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

A Península de Tróia localiza-se na margem esquerda da foz do Estuário do Sado, a sul de Setúbal, constituindo o extremo noroeste do arco litoral Tróia-Sines, na costa oeste portuguesa. A ligação da península ao continente é feita a sul na zona do Carvalhal (Figura 17).





Figura 17: Enquadramento geográfico da área em estudo da campanha de Tróia. Enquadramento geral (a) e enquadramento do local da experiência (b). (Imagens Basemap Imagery ArcGis 10.2.2©)

#### 4.1.3.1 Enquadramento geomorfológico e oceanográfico

A península de Tróia tem uma orientação SE-NW e um comprimento de aproximado de 25 km, com uma largura que varia entre os 0.5 km e os 1.8 km (Ferraz *et al.*, 2010). Tróia é uma restinga arenosa sendo o seu sedimento de idade quaternária (Ferraz *et al.*, 2010). Devido à sua localização, a sul do cabo Espichel, a ponta norte da restinga encontra-se protegida da agitação marítima proveniente do quadrante NW. De acordo com a classificação morfodinâmica de praias de Wright e Short (1984), as praias oceânicas da zona norte de Tróia classificam-se como praias de características intermédias, no contínuo entre os extremos dissipativo e refletivo que caracteriza a evolução sazonal da morfologia das praias, normalmente envolvendo padrões complexos de circulação de água com a presença de sistemas de barra e canal. Grande parte da restinga é formada por um sistema dunar extenso e complexo onde predominam dunas costeiras do tipo *foredune*, fixadas por vegetação dunar, com estrutura e dimensão variadas (Ferraz *et al.*, 2010).

#### 4.1.3.2 Descrição de trabalhos de campo 20/05/2016

Esta campanha ocorreu no dia 20 de maio de 2016, sendo que o pico de preia-mar se verificou às 15:10. A inclinação natural da praia na área da experiência era de 10°. Esta experiência, teve a construção de três relevos e decorreu em tempos diferentes sendo que a monitorização do Relevo 1 teve início às 12:10, a monitorização do Relevo 2 iniciou-se 12:20. A última fase de monitorização, com o Relevo 3, iniciou-se às 12:38. As inclinações utilizadas na campanha Tróia estão apresentadas na Tabela 9 e na Figura 18.

Tabela 9: Dados de altura, comprimento, profundidade, inclinação e declive das dunas artificiais da quarta campanha (T).

(\*) Este valor pode não ser representativo devido a constrangimentos nas medições realizadas.

RELEVO	ALTURA (m)	COMPRIMENTO (m)	PROFUNDIDADE (m)	INCLINAÇÃO INICIAL APROXIMADA (°)	DECLIVE INICIAL
1	0.20	2	2	12	0.190
2	0.10	2	2	21	0.261 (*)
3	0.50	2	2,8	15	0.250



Figura 18: Representação dos relevos no início da experiência na campanha T.

As estacas graduadas foram distribuídas da seguinte forma: Relevo 1 e 2 com sete estacas cada, espaçadas entre si cerca de 0.30 m, e Relevo 3 com nove estacas espaçadas entre si de 0.30 m. Foi também realizado um levantamento topográfico transversal da praia, na zona da experiência.

A medição da altura e do posicionamento das estacas, bem como a medição da velocidade de espraio e da agitação marítima na praia foram realizadas com os mesmos procedimentos da campanha de S. Pedro do Estoril.

## 4.2 Processamento de dados das campanhas

### 4.2.1 Agitação marítima

#### 4.2.1.1 Análise de dados do transdutor de pressão

Nas campanhas onde se utilizaram transdutores de pressão para a medição de agitação marítima perto da praia (Campanha QC2), foram utilizados dois métodos de tratamento de dados, a análise do registo das ondas no domínio temporal, e a análise do registo das ondas no domínio das frequências.

##### *Análise do registo de ondas no domínio temporal*

O registo de pressão foi corrigido relativamente à pressão atmosférica (*i.e.* retirar o efeito da pressão atmosférica) e foram seleccionados os dados representativos das condições de agitação para o período de monitorização. Os valores de pressão referentes às ondas foram analisados estatisticamente de forma a calcular os valores de altura significativa e altura média das ondas (Equação 8, Kamphuis 1990).

Equação 8

Parâmetros

$H_s = 4\sigma$ $H_{médio} = \sigma\sqrt{2\pi}$	$H_{médio}$ Altura média das ondas $H_s$ Altura significativa das ondas $\sigma$ Desvio padrão
---	--

##### *Análise do registo de ondas no domínio da frequência (análise espectral)*

Após a correção dos efeitos da pressão atmosférica, a série temporal de pressão foi filtrada para o intervalo de frequências 0.04-0.6 Hz utilizando um filtro *Butter* de segunda ordem, que paralelamente corta os registos fora deste intervalo de frequências (considerado ruído) e elimina o efeito da maré nos registos.

O cálculo dos parâmetros de agitação, a partir dos registos de pressão, efectuou-se por análise espectral, como descrito em Kamphuis (1990), em intervalos temporais de 20 minutos, tendo-se adicionalmente alisado o espectro das ondas com um filtro do tipo *Bartlett* de grau 5.

Após a realização da análise espectral obteve-se a altura significativa, período de pico e direcção das ondas.

#### 4.2.1.2 Velocidade de espraio

Nas campanhas CQ1, SPE e T foi filmada a ação do espraio nos relevos contruídos. Foram colocadas duas estacas georreferenciadas e distanciadas em um metro. Os filmes, com cerca de 30 *frames* por segundo, foram transformados em sequência de imagens utilizando o *software Video to Picture Image Converter 3 @*, para se obter uma melhor percepção de quando o espraio chegava às estacas. Em cada espraio observado calculou-se a sua velocidade dividindo o valor da distância entre estacas e o tempo decorrido neste percurso.

### 4.2.2 Topografia dos relevos

Os levantamentos topográficos, dos relevos construídos, foram realizados de 10 em 10 minutos sendo que o tratamento dos dados foi feito recorrendo a dois métodos distintos:

O primeiro método utilizado consistiu na medição periódica da distância entre a superfície e o topo de cada uma das estacas. A referência da superfície dos relevos para cotas absolutas (relativas ao NMM) efectuou-se, subtraindo as distâncias medidas à cota do topo das estacas obtida através de DGPS RTK. Este método foi utilizado nas campanhas CQ1 e CQ2.

O segundo método, utilizado nas campanhas SPE e T, consistiu na captura de imagens de 10 em 10 minutos de cada um dos relevos. A aquisição de imagens perpendicularmente à direção de inclinação do relevo, do lado de mar, e a medição da topografia dos relevos nas estacas graduadas efetuou-se por medição direta no *software AutoCad*®. Utilizou-se a graduação das estacas como referência para a escala das imagens, em cada uma das estacas e para cada momento de medição. Na última campanha, campanha de Tróia, a qualidade das imagens adquiridas era mais reduzida, pelo que apenas se mediu a distância entre a primeira graduação em contacto com o solo e depois contou-se o número de graduações para se obter a altura real.

### 4.3 Análise dos dados adquiridos no âmbito do projeto CISML (ARH Tejo): Evolução morfológica da praia à mesoescala.

Nesta dissertação utilizaram-se dados recolhidos e tratados no âmbito do estudo “CISML” sobre o litoral na área de intervenção da ARH do Tejo. Trata-se de um estudo, concluído em junho de 2013, que teve como objetivo a criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da administração da região hidrográfica do Tejo (Andrade *et al.*, 2013).

Este estudo incluiu, numa primeira fase, a caracterização do forçamento meteorológico e oceanográfico bem como a caracterização da margem terrestre na situação de referência, a avaliação da perigosidade associada à mobilidade da linha de costa e o enquadramento das soluções de intervenção em 15 praias-piloto. Estas praias foram escolhidas de forma a considerar a diversidade geomorfológica e a existência de necessidades de gestão e planeamento da ARH Tejo (Andrade *et al.*, 2013). No projeto CISML, e nas praias-piloto, foram realizados 53 perfis topográficos de praia, em 10 campanhas, nas quais se recolheram sedimentos da face praia, berma e duna (quando esta existia).

#### 4.3.1 Enquadramento geomorfológico

De um modo geral, a geomorfologia das praias-piloto escolhidas para monitorização do projeto CISML, e avaliadas neste estudo, é muito diversificada e encontra-se descrita no relatório “*Entregável 1.2.3.e Caracterização da variabilidade morfodinâmica sazonal das praias-piloto representativas do litoral em estudo*” (Silveira *et al.*, 2013). A granulometria observada também é muito variada espacialmente e temporalmente, sendo que esta informação encontra-se descrita no mesmo Entregável. Neste trabalho considerou-se que a textura das praias analisadas corresponde, de grosso modo, à média da granulometria (D50) observada nas praias onde se detetaram escarpas, valor que resulta em  $1\phi$ , ou 5mm.

#### 4.3.2 Enquadramento oceanográfico

Tal como a geomorfologia, a agitação marítima nas praias-piloto é muito variável sendo que cada praia demonstrou ter condições de agitação junto à costa muito particulares. A informação mais detalhada sobre este tema encontra-se no “*Entregável 1.1.7.b Caracterização do clima de agitação junto à costa*” (Silveira *et al.*, 2013).

#### 4.3.3 Identificação de escarpas

O procedimento utilizado para a identificação de escarpas foi a procura, sistemática e exaustiva, na base de dados fotográficos, bem como a análise dos resultados do CISML descritos no “*Entregável 1.2.3.e Caracterização da variabilidade morfodinâmica sazonal das praias-piloto representativas do litoral em estudo*.” (Silveira *et al.*, 2013).

#### 4.3.4 Determinação de parâmetros morfológicos e oceanográficos

Informação detalhada relativa ao tamanho de sedimentos, às orientações das praias, às fotografias e às morfologias levantadas pode ser encontrada no “*Entregável 1.2.3.e Caracterização da variabilidade morfodinâmica sazonal das praias-piloto representativas do litoral em estudo*.” (Silveira *et al.*, 2013).

#### 4.3.4.1 Declive

O declive foi calculado na parte mais ativa do perfil, que corresponde essencialmente à face de praia. Dada a variabilidade destes perfis optou-se por usar cotas para estabelecer os limites posicionais no cálculo do declive. Como limite inferior usou-se o NMM e para o superior uma cota correspondente ao limite terrestre da face de praia (Tabela 10). Estes limites estão de acordo com a segmentação proposta por Silveira *in prep.*, que se baseou numa análise da variação vertical para o envelope do perfil.

Tabela 10: Cotas utilizadas para o limite superior do cálculo do declive

COTA	
PPN1	5.54
PPV2	5.12
PPV3	4.32
PNZ2	5.15
PNZ3	4.83
PBP3	3.87
PSC2	6.20
PBS3	4.08
PMG1	3.30
PTM3	3.02
PCC4	4.83
PRA1	3.06
PFT2	3.80
PLA1	5.18

#### 4.3.4.2 Parâmetro K\*

O parâmetro K\* de Sunamura (1985) foi calculado através da fórmula representada na Equação 6 e utilizando os dados da agitação incidente. Este valor foi calculado para cada dia, desde a primeira campanha realizada até à última.

#### 4.3.5 Agitação incidente

Os dados de agitação marítima, ao largo, considerados no presente trabalho correspondem a uma série temporal de agitação marítima reconstruída (*hindcast*) através do modelo espectral de terceira geração – Wavewatch III. Este modelo utiliza campos sinópticos de vento para a reconstrução da agitação sendo que a sua validação se encontra em Bertin *et. al*, 2013. Os dados utilizados neste trabalho compreendem-se entre janeiro de 2011 e dezembro de 2014, correspondem reconstrução para a posição geográfica 10°W e 39°N. e foram cedidos pelo Professor Xavier Bertin (Universidade de La Rochelle).

#### 4.4 Análise dos dados adquiridos na praia de Narrabeen-Collary (Austrália): Evolução morfológica da praia à mesoescala.

Na presente dissertação foram utilizados dados de observação, de longo prazo, da praia de Narrabeen em Sidney, Austrália (Figura 19). Esta base de dados corresponde a um período de observação da praia, durante 40 anos, em que se registaram várias características como topografia, agitação marítima, entre outras (Turner *et al.*, 2016). Estes dados contribuíram para a criação e calibração de vários modelos incluindo o *morphodynamic beach state model* (Turner *et al.*, 2016), hoje muito utilizado em todo o mundo para descrever os diferentes estados naturais da praia, as suas assinaturas características nos processos morfodinâmicos, o controle ambiental de sedimentos, bem como a agitação marítima envolvida nos processos anteriores.

Estes dados estão disponíveis *online*, para utilização sem restrições, desde março de 2016 e referem-se a levantamentos topográficos mensais de oito perfis, batimetrias, e séries temporais de dados da maré astronómica e de ondas no mar junto à praia, de cada perfil. Os perfis foram levantados com intervalos mensal a semanal desde abril de 1976 até 2016. Até 2006, o levantamento topográfico efetuou-se pelo método de Emery<sup>7</sup> e a partir de 2005 começou-se a utilizar GPS RTK. Os dados de batimetria começaram a ser adquiridos em 2011 com intervalos irregulares até 2015, sendo levantados pela *NSW Office of Environment and Heritage*. Relativamente aos dados das ondas, estes foram adquiridos por uma boia ondógrafo posicionada ao largo da praia de Narrabeen, desde 1979 até outubro de 2014. Os dados de altura significativa, período de pico e direção ao largo foram transformados em dados à profundidade de 10 m utilizando o modelo de ondas SWAN. Por último os dados de marés também foram recolhidos pelo *NSW Office of Environment and Heritage* num marégrafo situado na Base Naval de Penguin da Marinha Real Australiana, perto do porto de Sidney.

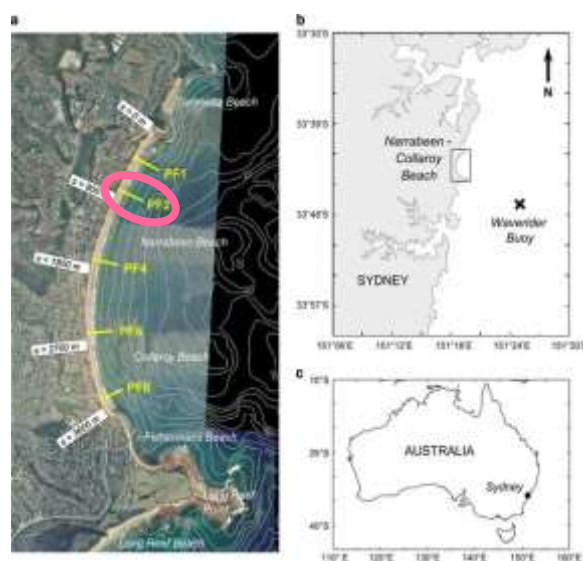


Figura 19: Localização da área em estudo. (a) Foto aérea onde se encontram representados os 7 perfis existentes, bem como a batimetria com isolinhas de 2,5 em 2,5 metros e a distância de cada perfil ao promontório norte (s). Nesta dissertação irá ser focado o PF2. (b) Localização da praia de Narrabeen-Praia de Collaroy e da boia onde foram recolhidos os dados de agitação marítima offshore. (c) Visão geral. Adaptado de. Turner *et al.*, (2016).

<sup>7</sup> Método de Emery – Proposto por K. O. Emery em 1961, é um método simples de realizar um perfil transversal de praia, utilizando duas hastes graduadas, cujo alinhamento e leitura da intersecção com o horizonte permite a determinação de diferenças de nível ao longo do perfil. (Andrade *et al.*, 2006)



#### 4.4.1 Enquadramento oceanográfico

Devido à sua morfologia arqueada, existe um gradiente da energia das ondas diferente ao longo da baía. A norte, a energia das ondas é mais elevada e o perfil de praia apresenta características dissipativas a intermédias, enquanto para sul ocorre uma mudança para praias refletivas a intermédias relacionadas com a diminuição da energia das ondas (Turner *et al.*, 2016).

As marés características desta região são microtidais, semi-diurnas, com amplitude média em marés vivas equacionais de 1.3 m (Turner *et al.*, 2016).

Em águas profundas a agitação marítima é de moderada a alta energia tendo como altura significativa média 1.6 m e um período de pico médio de 10 s, com direção predominante SSE. As ondas de vento são geradas por ventos ciclónicos originários de latitudes médias que se propagam aproximadamente entre cinco a nove vezes por mês pelo mar de *Tasman* do Sul (situado entre a Austrália e a Nova Zelândia). No que diz respeito às ondas de tempestade, estas podem ter várias origens nesta região, podem resultar de ventos ciclónicos tropicais de nordeste e ciclones localizados a latitude média intensificados a sul. As ondas de tempestade apresentam tipicamente uma altura significativa de 3 m (Turner *et al.*, 2016).

O clima de agitação marítima também pode ser influenciado à escala anual por fenómenos como o ENSO<sup>8</sup>.

Junto à costa, o clima de agitação marítima é controlado pelos promontórios a norte e a sul da praia de Narrabeen, sendo que o promontório a sul confere um efeito de abrigo que diminui para norte. Neste troço a deriva litoral dá-se predominantemente de norte para sul (Turner *et al.*, 2016).

#### 4.4.2 Aquisição de dados

Nesta dissertação foi utilizada parte dos dados de Narrabeen, disponibilizados por Turner *et al.*, (2016), com o objetivo de visualizar a relação entre a morfologia do perfil de praia (côncava, linear ou convexa) quando existe formação de escarpa e a agitação marítima ao largo. Foi escolhido o perfil 2 (PT2) pois é o único que não apresenta uma barreira de corais em toda a sua extensão. Foram apenas utilizados os dados correspondentes a levantamentos GPS, uma vez que estes apresentam uma melhor resolução espacial e uma melhor precisão relativamente ao método de Emery, embora o período de dados seja mais reduzido.

Tendo em conta que a última data dos dados de agitação marítima é de outubro de 2014, o intervalo de dados que foi estudado foi de 20/06/2005 a 15/10/2014.

##### 4.4.2.1 Agitação marítima

Para a avaliação da agitação marítima realizaram-se médias dos valores ao largo de altura significativa, período de pico e direção, utilizando o do *software MatLab* ©.

##### 4.4.2.2 Topografia

Todos os perfis topográficos, relativos ao perfil PF2 e compreendidos no intervalo de tempo referido, foram projetados em gráficos através de rotinas de leitura de ficheiros em *Excel* (.xls).

---

<sup>8</sup> ENSO – *El Niño Southern Oscillation*. Fenómeno oceânico e atmosférico onde ocorre a variações dos ventos e da temperatura da superfície do oceano sobre o Pacífico este, podendo afetar outras partes do globo.

#### 4.4.3 Parâmetros morfodinâmicos

##### 4.4.3.1 Declive e concavidade

Através da utilização dos dados dos levantamentos foram calculados todos os declives do perfil de praia compreendido entre a cota 1.8 m (cota máxima comum a todos os perfis) e a cota 0 m que corresponde ao *Australian Height Datum* considerado equivalente ao NMM (Turner *et al.*, 2016).

Admitiu-se que os valores positivos de concavidade indicavam perfis côncavos (relacionados com a erosão), e valores negativos correspondiam a perfis convexos (relacionados com acreção).

##### 4.4.3.2 Parâmetro $K^*$

O parâmetro  $K^*$  de Sunamura (1985) foi calculado com a fórmula presente na Equação 6, utilizando os parâmetros médios de agitação incidente. Este valor foi calculado para cada dia entre o dia da realização da primeira campanha até à última campanha.

##### 4.4.3.3 Indicador de largura de praia

Com o intuito de avaliar a evolução da praia, e em particular, os períodos onde se observam fenómenos importantes de erosão e acreção, utilizou-se um indicador de posição da linha de costa que corresponde à largura de praia aos 0 m, ou seja a largura da praia foi medida através da distância entre a origem do perfil e a interceção do perfil à cota 0 m (NMM). A evolução da praia, ou da linha de costa, foi calculada através da diferença deste indicador entre levantamentos sucessivos. Uma evolução positiva representa o crescimento do perfil em direção ao mar (acreção) e uma evolução negativa representa o recuo em direção a terra (erosão).

Esse indicador foi utilizado nos dados de Narrabeen para avaliar a evolução dos perfis ao longo do tempo, bem como para relacionar com os parâmetros morfodinâmicos: declive, concavidade e parâmetro  $K^*$ .

A cota de referência utilizada para calcular a largura (os 0 m) foi definida pela melhor correlação ( $R^2$ ) encontrada na matriz de correlação entre a evolução da largura da praia e os parâmetros de agitação marítima ( $H_s$ ,  $T_p$  e Direção), os parâmetros morfológicos (concavidade e declive) e o parâmetro  $K^*$  (Tabela 11).

Tabela 11: Valores das correlações entre os dados de agitação marítima, concavidade e declive do perfil de praia com as diferentes cotas tomadas como referência, que são utilizadas posteriormente.

Cota	Valores de Correlação ( $R^2$ ) da evolução da largura do perfil com:						Média de correlações
	$H_s$	$T_p$	Dir	Concavidade	Declive	$K^*$	
0	0.0577	0.0284	0.0164	0.0159	0.2333	0.1867	0.0897
0.5	0.0576	0.0232	0.0153	0.0044	0.1461	0.2040	0.0751
1	0.0616	0.0213	0.0154	0.0026	0.0881	0.2193	0.0681
1.5	0.0636	0.0204	0.016	0.0095	0.0453	0.2387	0.0656
2	0.0578	0.0199	0.0188	0.0361	0.0151	0.2421	0.0650
2.5	0.0085	0.0246	0.0091	0.0307	0.016	0.1527	0.0403

Perante os valores apresentados, confirmou-se a viabilidade da utilização da cota a 0 m, uma vez que esta é a cota que otimiza a correlação para o conjunto dos parâmetros.



## 5 Resultados e Discussão

### 5.1 Evolução de escarpas de praia à microescala

#### 5.1.1 Campanhas Cruz Quebrada

##### 5.1.1.1 Campanha 27/10/2015

##### 5.1.1.1.1 Agitação marítima

Os dados registados na boia ondógrafo da Nazaré (*Monican Costeira*), durante a campanha de campo CQ1, indicavam uma altura significativa ao largo de 5.74 m, altura máxima de 7.5 m, período médio de 11.7 s e a direção da ondulação de WNW. No entanto, considerando as condições de abrigo da praia, a agitação junto à costa apresentava uma altura muito menor. A velocidade de espraio medida, a partir da análise de vídeo, teve como valor médio de  $2.09 \text{ m.s}^{-1}$  na proximidade dos relevos, logo após a rebentação.

##### 5.1.1.1.2 Topografia

A comparação relativa dos relevos no início e no final da experiência está representada na Figura 20.

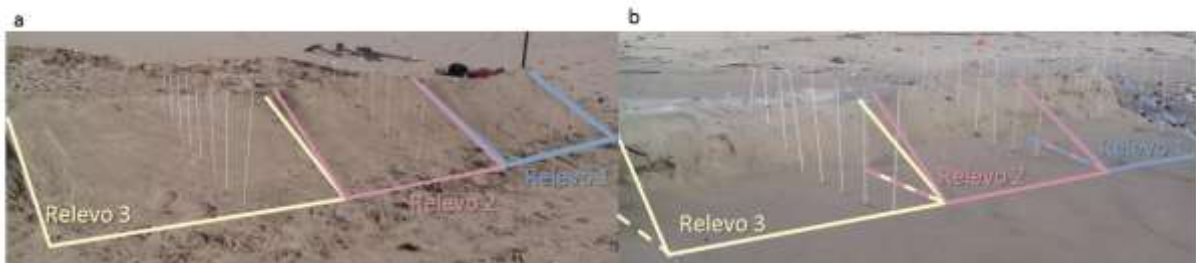


Figura 20: a) Estado inicial da experiência da campanha CQ1. b) Estado final da experiência CQ1.

##### 5.1.1.1.2.1 Relevo 1

O Relevo 1 apresentava no início da experiência uma inclinação de cerca de  $32^\circ$ . A formação de uma escarpa de erosão só ocorreu no final da experiência, aquando da chegada de vários espraio muito energéticos que galgaram e destruíram os relevos construídos.

No Relevo 1 não foi possível realizar a medição da altura da terceira estaca a contar do mar, pois esta foi derrubada pelo espraio e transportada pela corrente. Os valores obtidos nas medições finais do perfil do Relevo 1 não foram considerados representativos devido à forte erosão na zona de fronteira que deformou a morfologia do relevo, não foram representados na Figura 21.

Em relação à evolução do perfil pode verificar-se que este evoluiu linearmente e de forma praticamente constante.

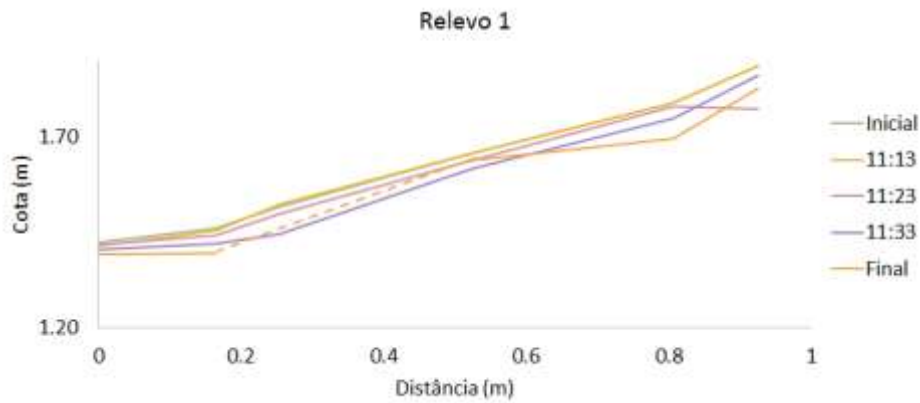


Figura 21: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar.

#### 5.1.1.1.2.2 Relevo 2 e 3

A evolução do Relevo 2, cujo declive inicial era de 0.41, mostrou a ocorrência de um recuo e depois a formação de escarpa nos instantes finais da experiência (Figura 22). O Relevo 3, com menor declive inicial (0.26), sofreu um recuo muito pequeno da sua base aumentando um pouco a inclinação e formou uma escarpa pouco inclinada nos momentos finais da experiência (Figura 22).

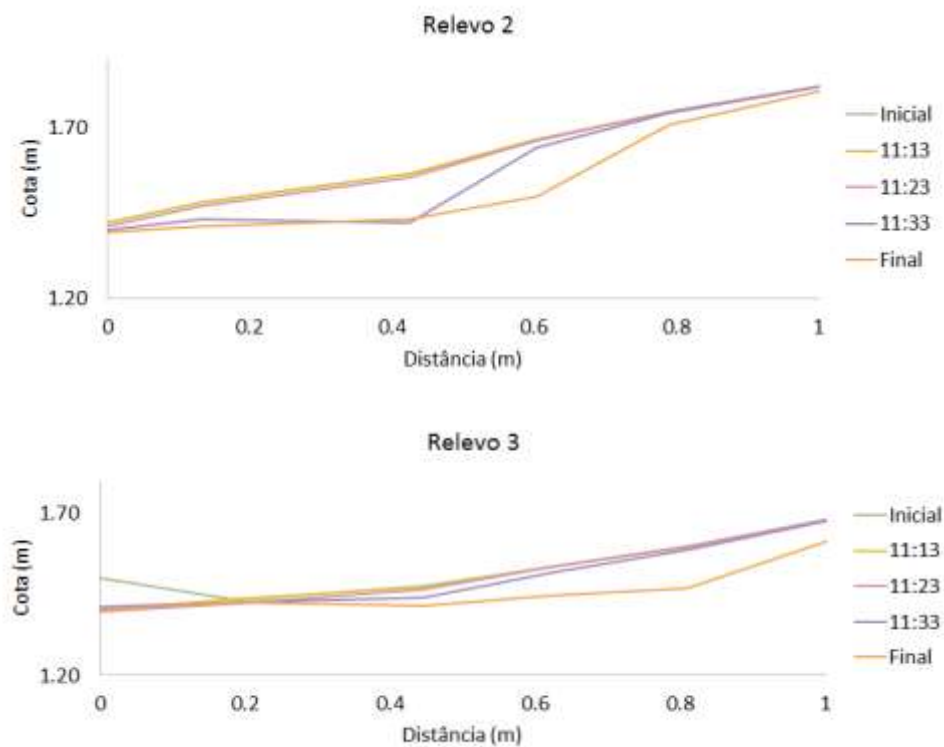


Figura 22: Gráfico representativo da evolução da topografia dos Relevo 2 e 3. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar.

### 5.1.1.2 Campanha 23/11/2015

#### 5.1.1.2.1 Agitação marítima

Os dados registados na boia de Sines (fornecidos pelo Instituto Hidrográfico) para o dia da experiência, correspondem a ondas com altura significativa ao largo de 1.61 m, altura máxima de 2.19 m, período médio de 11.7 s e a direção da ondulação de NW.

A velocidade média de espraio calculada perto dos relevos, logo após a rebentação, foi e 1.72 m.s<sup>-1</sup>.

#### 5.1.1.2.2 Topografia

A comparação relativa dos relevos no início e no final da experiência esta representada na Figura 23.

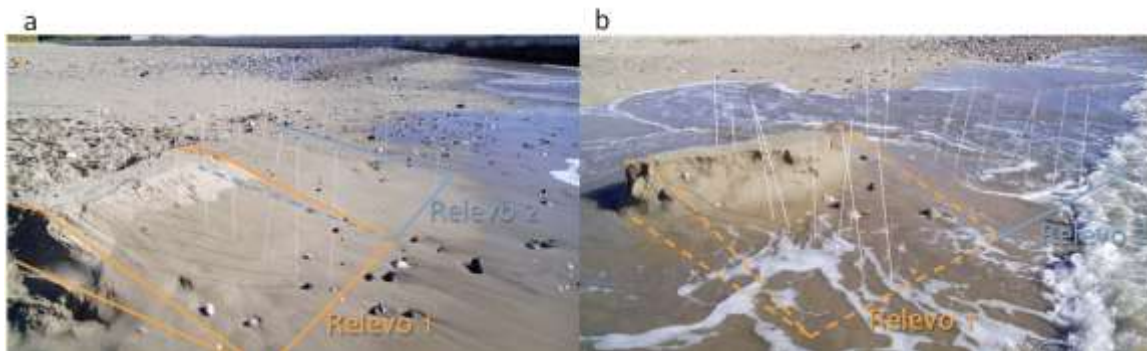


Figura 23: a) Estado inicial da experiência da campanha CQ2. b) Estado final da experiência CQ2.

#### 5.1.1.2.2.1 Relevo 1

O Relevo 1 foi construído com um declive de 0.35 e com um terraço no topo. No início da experiência ocorreu um pequeno recuo na base do relevo, sem grandes alterações na parte média/superior do relevo. No final da experiência este relevo começou a escarpar sendo que a erosão se tornou mais intensa o que provocou a queda de grandes quantidades de areia em simultâneo (Figura 24). Observou-se, porém, uma evolução contínua com uma escarpa pouco acentuada durante a maior parte da experiência. Na Figura 24 observa-se a evolução do relevo 1 no início e no fim da experiência. No perfil final os dados apresentam-se incompletos devido à perda das estacas.

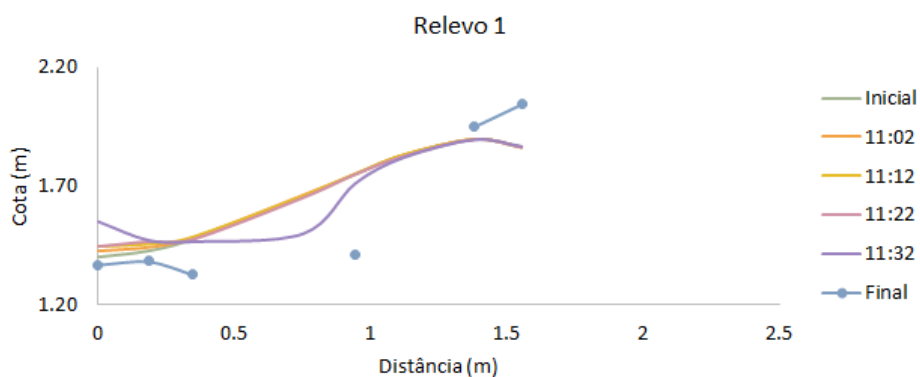


Figura 24: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar.

## 5.1.1.2.2.2 Relevo 2

O relevo 2 tinha uma inclinação inicial de  $20^\circ$  (declive de 0.36, o dobro da inclinação natural da praia), mas com um comprimento mais extenso (cerca de 2 metros). No estágio inicial de experiência notou-se um recuo muito ténue da face do relevo. O sedimento que foi erodido na parte superior do relevo e foi sendo depositado na sua base. Verificou-se o recuo da face do relevo, mas a meio da experiência, a erosão começou a ser mais intensa na fronteira direita e influenciou erradamente os resultados (Figura 26), tendo ocorrido mesmo o desaparecimento do relevo na fronteira direita. Na parte central deste relevo ocorreu a formação de uma escarpa e na fronteira esquerda ocorreu um recuo da face do relevo.

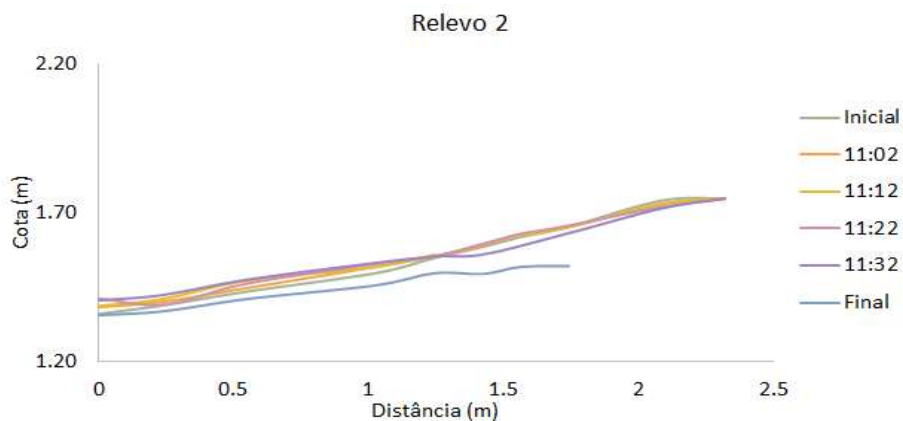


Figura 25: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 2. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima do mar.



Figura 26: Representação da erosão mais acentuada no lado direito do relevo 2 do que no lado esquerdo devido a efeitos de fronteira.

## 5.1.1.3 Discussão (CQ1 e CQ2)

As campanhas realizadas na praia da Cruz Quebrada permitiram avaliar algumas limitações do método utilizado.

Na campanha CQ1, as condições atmosféricas e oceanográficas não foram as mais adequadas à realização da experiência pois, ao serem muito energéticas, não permitiram a colocação de instrumentação na água.

As dunas foram frequentemente galgadas pelo espraio o que pode ter gerado transporte de areia em várias direções, mesmo para a parte posterior do relevo, levando também a resultados pouco precisos.

Apesar de algumas limitações desta experiência foi possível observar a formação de uma pequena escarpa no Relevo 2 nos instantes finais da experiência.

Na campanha CQ2, observou-se a formação de escarpa no Relevo 1. No Relevo 2, houve uma grande influência da zona de fronteira, o que inviabilizou os resultados obtidos. Este facto foi possivelmente potenciado pela presença de calhaus na construção da duna no lado mais frágil (fronteira direita). Ainda assim observou-se no Relevo 2 a erosão da parte superior do relevo e a imediata deposição na sua base. No Relevo 1, formou-se uma escarpa, comportamento já observado na campanha CQ1 no relevo mais íngreme (Relevo 2).

Por último, observou-se que nos relevos com declives íngremes ocorre em primeiro lugar um recuo da face do relevo paralelo à face inicial e, em instantes finais, a formação de escarpa. O tamanho dos relevos pode também não ter sido o mais adequado, sendo que, se estes tivessem uma maior profundidade, possivelmente a evolução da escarpa seria mais evidente permitindo retirar conclusões mais sólidas.

### 5.1.2 Campanha São Pedro do Estoril

#### 5.1.2.1 Agitação marítima

As condições de agitação ao largo, durante a campanha SPE (entre as 12:00 e as 18:00) caracterizam-se por altura significativa de 1.74 m, altura máxima de 2.71 m, período de pico de 5.9 s e período máximo de 12.9 s. Valores registados na bóia ondógrafo de Leixões (dados disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico).

Os valores médios, medidos através do transdutor de pressão, da altura significativa e altura média das ondas são, respetivamente, 1.31 m e 0.83 m. A velocidade de espraio medida foi de  $0,88 \text{ m.s}^{-1}$ .

#### 5.1.2.2 Topografia

##### 5.1.2.2.1 Relevo 1

O Relevo 1 foi construído com a menor inclinação ( $12^\circ$ ) dos três relevos construídos em SPE. Observou-se que este relevo sofreu acreção na sua base, perdendo no decorrer da experiência o declive inicial. Não formou escarpa. Este relevo foi galgado logo no início da experiência (14:20) devido à “forte” agitação marítima e observou-se a erosão do topo do relevo durante a experiência Figura 27.

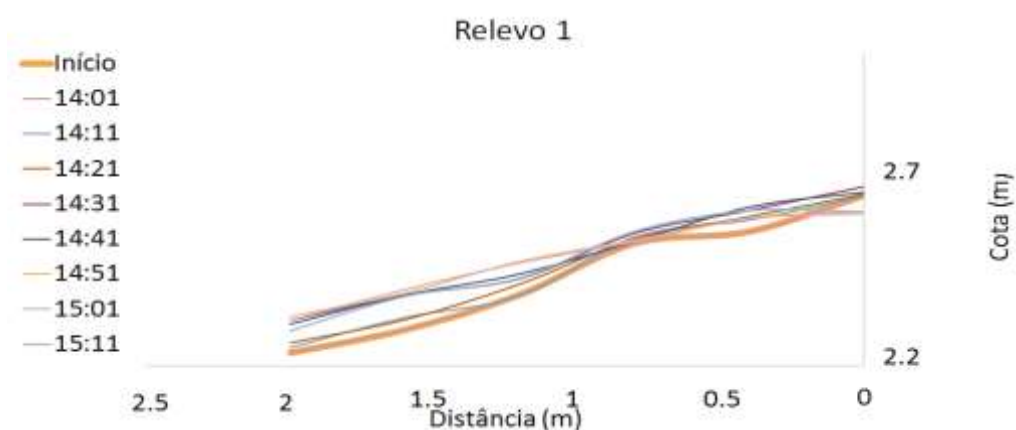


Figura 27: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima de terra.

### 5.1.2.2.2 Relevo 2

O relevo 2, tinha a maior inclinação dos três relevos (21°). No início observou-se deposição sedimentar na base do relevo, que foi posteriormente remobiliada junto à base. De seguida, a evolução do relevo tornou-se tendencialmente construtiva, com acreção tanto na base como no topo do relevo, ocorrendo ocasionalmente episódios erosivos que foram rapidamente compensados com episódios de acreção Figura 28.

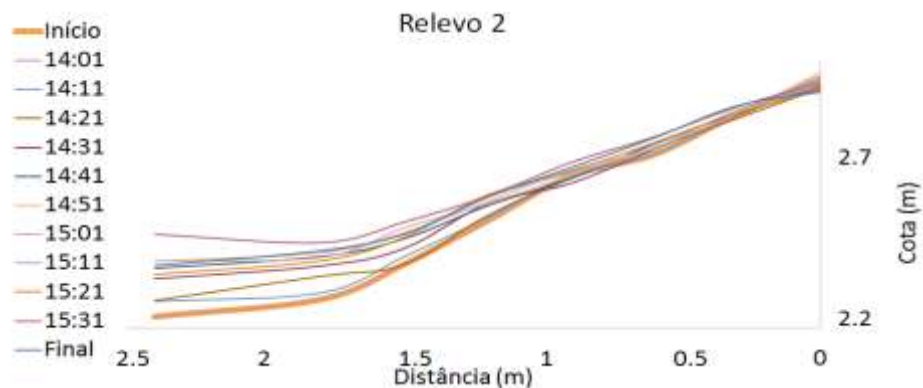


Figura 28: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima de terra.

### 5.1.2.2.3 Relevo 3

No Relevo 3, verificou-se pouca variação morfológica na parte superior e intermédia do relevo, ocorrendo as principais variações na sua base. Observou-se uma importante acreção na base deste relevo, sendo que no final da experiência ocorreu erosão significativa na parte superior, tendo esta permanecido invariante na restante da experiência (

Figura 29).

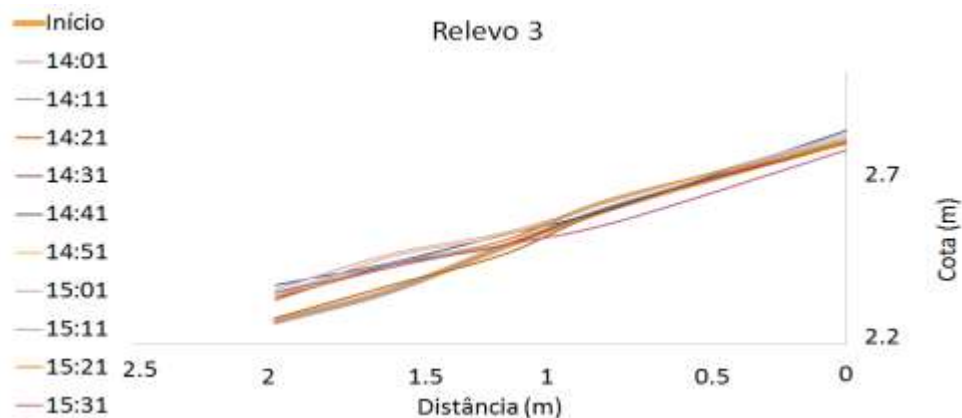


Figura 29: Gráfico representativo da evolução da topografia do Relevo 1. Eixo da distância representa distâncias à estaca mais próxima de terra.

### 5.1.2.3 Discussão (SPE)

Contrariamente ao que ocorreu nas experiências realizadas nas campanhas CQ1, CQ2 e T (descrita seguidamente), em São Pedro do Estoril não ocorreu a formação de escarpa evidente. Justifica-se este facto devido às condições de agitação marítima não serem as mais favoráveis, mas também devido ao facto de os relevos terem sido construídos numa zona onde a maré só chegou perto da fase de estofa, já com pouca energia.

As maiores variações morfológicas observadas ocorreram no Relevo 2, o relevo com maior inclinação. Observou-se a deposição do sedimento erodido do topo do relevo na sua base, fazendo com que o seu declive fosse diminuindo ao longo da experiência.

Observou-se de modo geral, que em todos os relevos ocorreu a deposição dos sedimentos erodidos do topo de cada relevo, na sua base. Nos Relevos 1 e 3, devido à sua pequena inclinação, não foram observadas mudanças morfológicas significativas.

### 5.1.3 Campanha Tróia (T)

#### 5.1.3.1 Agitação marítima

As características das ondas ao largo, representativas da campanha de 20 de maio em Tróia, foram valores médios de  $H_s$  e  $H_s$  máximo, respetivamente 1.09 m e 1.77 m e valores de  $T_p$  e  $T_p$  máximo 6.02 s e 11.15 s, respetivamente.

A velocidade de espraio estimada teve como valor médio de  $1.65 \text{ m.s}^{-1}$ .

A agitação junto à costa, registada pelo transdutor de pressão e, analisada em intervalos de 10 minutos encontra-se representada na Tabela 12 e Figura 30. Observou-se que os valores de  $H_s$  variam entre 0.27 m e 0.19 m tendo como valor médio 0.23 m, os valores de  $T_{\text{médio}}$  ( $T_1$ ) encontra-se entre 8.55 s e 6.66 s com valor médio de 7.88 s e o período de pico variou entre 10.71 s e 8.11 s tendo como média o valor de 9.67 s.



Tabela 12: Valores da análise espectral dos dados recolhidos pelos transdutores de pressão. Análise de 10 em 10 minutos da Altura Significativa ( $H_s$ ), dos Períodos Médios ( $T1$  e  $T2$ ), Período de Zero Ascendente ( $T_z$ ), Período de Pico ( $T_p$ ), e Frequência de Pico ( $F_p$ ), Valores médios são apresentados na última linha.

HORA	HS	T1	T2	TZ	TP	FP
12:20	0.19	6.66	6.10	6.98	8.11	0.12
12:29	0.20	7.16	6.58	6.98	8.57	0.12
12:39	0.21	7.20	6.62	7.50	8.22	0.12
12:49	0.20	7.33	6.72	7.41	8.57	0.12
12:59	0.24	7.87	7.18	8.22	10.00	0.10
13:09	0.22	7.87	7.19	7.41	8.82	0.11
13:19	0.24	8.12	7.45	8.70	10.71	0.09
13:29	0.23	7.81	7.07	7.59	10.17	0.10
13:39	0.27	8.35	7.57	8.82	10.17	0.10
13:49	0.26	8.43	7.76	8.22	9.52	0.11
13:59	0.26	8.55	7.83	8.82	10.00	0.10
14:09	0.21	8.29	7.49	8.11	10.00	0.10
14:19	0.24	8.30	7.49	8.82	10.17	0.10
14:29	0.22	8.13	7.42	8.82	10.91	0.09
14:39	0.21	7.84	7.01	8.11	10.53	0.10
14:49	0.25	8.13	7.36	8.57	10.17	0.10
VALORES MÉDIOS	0.23	7.88	7.18	8.07	9.67	0.10

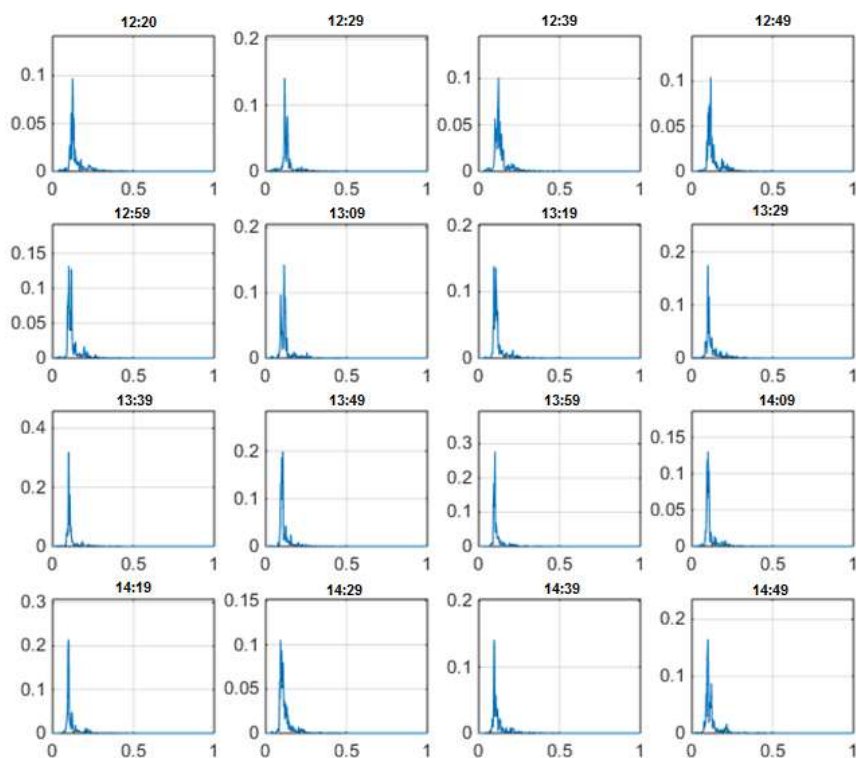


Figura 30: Análise espectral de 10 em 10 minutos durante o decorrer da experiência realizada na campanha T.



### 5.1.3.2 Topografia

A monitorização dos três relevos não se iniciou em simultâneo, sendo que a monitorização do Relevo 1 começou às 12:10 e terminou 40 minutos depois (às 12:50), O relevo 2 foi monitorizado entre as 12:20 e as 12:50, enquanto a monitorização do relevo 3 iniciou-se às 12:58 terminando 100 minutos depois (às 14:38).

#### 5.1.3.2.1 Relevo 1 e 2

Nos relevos 1 e 2, os resultados não são coerentes com o observado durante a experiência, apresentando cotas anormais com valores demasiado elevados, e por isso considerados anómalos. Possivelmente, estes resultados devem-se a um erro de medição da cota das estacas, pelo que se consideraram errados. Estes dados encontram-se apresentados nos *Anexos* deste documento.

#### 5.1.3.2.2 Relevo 3

O relevo 3 apresentou a formação de escarpa no estágio final da experiência. Não se verificou um recuo significativo no início da experiência, mas às 13:58 o relevo começou a sofrer erosão formando-se uma pequena escarpa que evoluiu até ao final da monitorização (Figura 31). Com o decorrer da erosão observa-se que parte do sedimento erodido foi depositado na base do relevo.

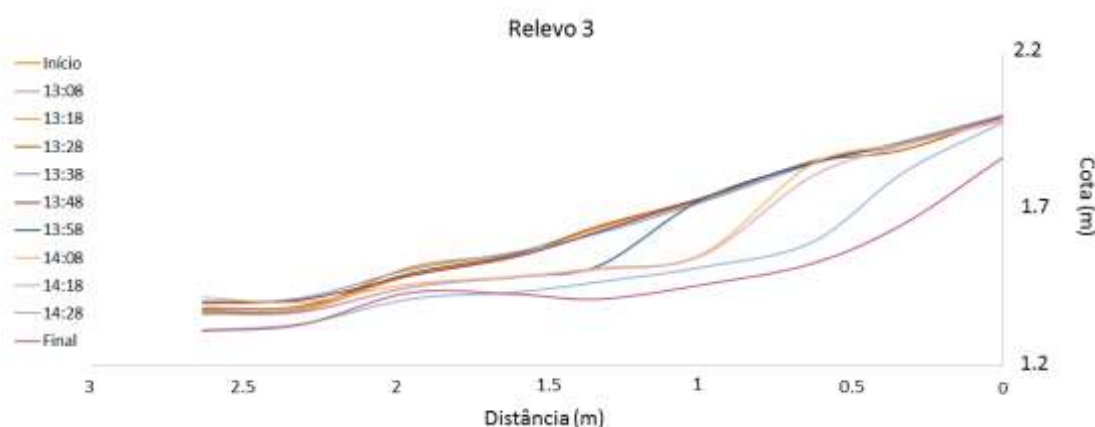


Figura 31: Gráfico representativo da topografia do relevo 3 ao longo do tempo.

Foram, ainda, calculados os valores de altura, ângulo e declive do relevo após a formação da escarpa (Tabela 13) com valores de altura entre 0.21 m no início da formação da escarpa e de 0.32 no último momento em que se observou a presença de escarpa. Em relação à sua inclinação, esta varia entre 31° a 36°, sendo maior na última vez em que a escarpa foi observada. Após o levantamento realizado às 14:28, a escarpa deixou de estar presente, dando lugar à fase final da experiência, onde a maior parte do relevo já teria sido erodido. Verificou-se que a escarpa recua paralelamente a si própria, aumentando a sua altura e mantendo o mesmo declive, aproximado de 0.70, estando de acordo com Gala (2015).

Tabela 13: Valores de altura, ângulo, declive e face de praia, após a formação de escarpa.

TEMPO	ALTURA (m)	INCLINAÇÃO (°)	DECLIVE
13:58	0.21	31	0.60
14:08	0.28	35	0.70
14:18	0.30	35	0.70
14:28	0.32	36	0.71

### 5.1.3.3 Discussão (T)

Para as condições de agitação marítima observadas no local (altura significativa média de 23 cm e período de pico de 9.67 s) observou-se a formação de escarpa no Relevo 3, sendo o de maior comprimento. Os resultados obtidos para os Relevos 1 e 2 foram considerados errados, devido ao erro de medição de cotas por parte do DGPS.

A formação da escarpa deu-se, sobre tudo, devido a subida do nível da água devido à maré, no entanto verificou-se que entre o às 13:48 e 13:58 uma variação no declive que pode ter contribuído para o aumento da altura da escarpa e do seu declive passando de 0.2893 para 0.3618 na zona onde foi observada a escarpa. No momento final entre as 14:28 e o final da experiência verifica-se uma descida brusca do declive passando de 0.3526 a 0.1714, estando associada a destruição quase total do relevo.

Associando estes resultados aos valores de agitação marítima calculados pela análise espectral, verificou-se que durante esse período de tempo em que a altura significativa, o período médio e o período de pico tiveram valores mais elevados (Tabela 12). Propõe que estas alterações na agitação marítima possam ser a causa da formação de escarpa.

O sucesso que se observou na experiência realizada no Relevo 3 é atribuído a sua maior profundidade, em relação a relevos anteriores.

### 5.1.4 Discussão

#### 5.1.4.1.1 Formação de escarpas à microescala

Em todas as experiências, expeto a campanha SPE, ocorreu a formação de pelo menos uma escarpa nos relevos artificiais construídos.

Nas campanhas CQ1 e CQ2 foi observada a formação de escarpas, mas, devido à pequena dimensão dos relevos, não foi possível realizar um estudo tão aprofundado com o realizado na campanha T. No entanto, e apesar da forte agitação marítima registada em ambas as campanhas, verificou-se que o elemento crucial para a formação de escarpa foi a subida da maré.

Na campanha SPE, como referido, não ocorreu a formação de escarpa nos relevos, atribuindo-se este resultado à fraca agitação marítima e à localização de construção dos relevos. Os relevos foram construídos num local onde a preia-mar chegou já na fase de estofa, com menos energia.

Atribuiu-se a responsabilidade da formação das escarpas à subida da maré (observado também por Kabota *et al.*, (1999) e Bonte (2013)), à agitação marítima à inclinação dos relevos e ao seu comprimento. Verificou-se também que, para a formação de escarpa, o espraio não pode galgar a totalidade o relevo, tendo que o espraio atuar durante o tempo suficiente na face do relevo para ocorrer a formação de escarpa. Na campanha T propõe-se que a ligeira subida dos valores das condições de agitação marítima observadas antes da formação da escarpa, associados à subida da maré, podem também estar relacionados com a formação da escarpa observada.

#### 5.1.4.1.2 Métodos utilizados

A dimensão dos relevos utilizados, associada às condições oceanográficas (demasiado energéticas) dos dias escolhidos (*e.g.* campanha CQ1 ocorreu durante um evento de super-lua, levando a agitação marítima mais forte), podem ser a razão pela qual na maioria das experiências não se ter conseguido estabelecer uma clara relação entre o processo de formação de escarpas e a agitação incidente.

A dependência dos resultados com a dimensão do relevo construído, foi verificada na campanha de Tróia, em que se verificou que se o Relevo 3 tivesse a mesma profundidade que os anteriores, a destruição lateral do relevo seria predominante sem que houvesse a possibilidade de se formar uma escarpa, como aconteceu na campanha CQ2, por exemplo.

Neste caso, a formação da escarpa ocorreu perto do topo do relevo, e se este tivesse apenas dois metros de comprimento, esta zona estaria muito próxima da zona de fronteira o que poderia influenciar, ou mesmo mascarar a formação da escarpa.

## 5.2 Morfodinâmica associada à geração e evolução de escarpas de praia

Com o trabalho realizado nas campanhas a microescala, verificou-se que os fatores condicionantes mais importantes associados à geração de escarpas são o declive da face de praia e a agitação marítima, que se encontram relacionados no parâmetro morfodinâmico  $K^*$  (descrito no capítulo 3.3.3-*Modelo de acreção e erosão de Sunamura (1985)*).

Com os dados do projeto CISML, e para todas as praias estudadas neste projeto, comparou-se a granulometria dos sedimentos com o declive da face de praia, os valores de declives reais com valores calculados por modelos de previsão de declive de face de praia. Ainda, e nas praias com escarpa, utilizaram-se estes dados para verificar as condições de agitação anteriores à campanha onde foi detetada a presença de escarpa, bem como para o cálculo do parâmetro  $K^*$ .

Com os dados da praia de Narrabeen, calculou-se o declive e a concavidade entre as cotas 0 m e 1.8 m, em todos os perfis selecionados, e avaliou-se a evolução da largura do perfil de praia através da sua diferença entre campanhas sucessivas. Ainda, correlacionaram-se estes parâmetros morfodinâmicos com os dados de agitação marítima e calculou-se o parâmetro  $K^*$ .

### 5.2.1 Declive

#### 5.2.1.1 Declive e dimensão do grão

O declive da face de praia depende, não só, das características da agitação incidente, mas também do diâmetro médio do sedimento. Nesse sentido foi avaliada a relação entre o diâmetro médio dos sedimentos e o declive de face de praia ( $\tan\theta$ ) em todo o conjunto de dados, disponibilizado na base de dados do projeto CISML. Da análise do gráfico representado na Figura 32, observa-se que quanto maior o diâmetro médio do sedimento (representados pelos valores mais pequenos na escala  $\phi$ ) maior será a inclinação da face de praia. Observou-se que praias constituídas por sedimentos com valores de diâmetro superiores a  $2\phi$  (inferiores a  $250\mu m$ ) a inclinação é sempre inferior  $5^\circ$  (declive cerca de 0.09). Foi ajustada a reta de tendência média encontrada por Shepard (1973), a qual se verificou ter maior declive que a reta de tendência dos dados medidos. Esta observação é concordante com estudos publicados de Bascom (1951), Wiegel (1964), McLean e Kirk (1969), Dubois (1972) entre outros.

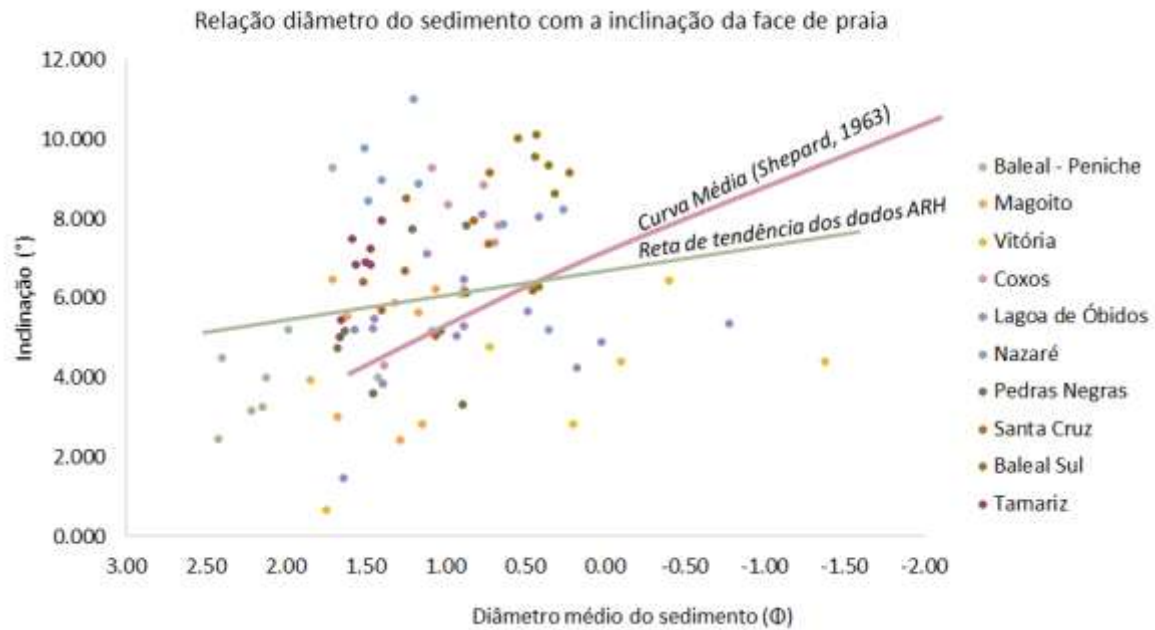


Figura 32: Gráfico representativo do diâmetro médio do sedimento recolhido durante as campanhas realizadas, em escala  $\phi$ , e a inclinação da face de praia, em graus.

#### 5.2.1.2 Declive e agitação marítima

É amplamente reconhecido que o declive da face de praia varia consoante as condições de agitação incidente. Nesta análise foram utilizados os dados das praias de Narrabeen e do projeto CISML. Os ensaios efetuados com a comparação entre os parâmetros de agitação marítima isolados e o declive das praias de Narrabeen foram inclusivos pelo que se optou por apresentar estes resultados em anexo.

Foi ainda avaliado o desempenho dos modelos de previsão existentes na literatura, com dados do projeto CISML. Para esta análise foram utilizados os dados de granulometria e declive recolhidos nas seguintes praias: Praia Baleal-Peniche (PBP3), Praia do Magoito (PMG1), Praia Paredes de Vitória (PPV2), Praia dos Coxos (PCX1), Praia da Lagoa de Óbidos (PLOB1 e PLOB2), Praia da Nazaré (PNZ2), Praia das Pedras Negras (PPN1), Praia de Santa Cruz (PSC2), Praia do Baleal Sul (PBS2) e Praia do Tamariz (PTM2). Os modelos foram aplicados utilizando dados de agitação marítima, *hindcast* gentilmente cedidos pelo Professor Xavier Bertin (Universidade de La Rochelle).

Os modelos de Rector (1954) e Sunamura (1984) (em dados de laboratório) conduziram a valores irrealistas com valores de declive superiores a 1. Neste sentido só se compararam os dados de campo aos modelos de Sunamura (1984) (em dados de campo) e de Komar e Gaughan (1972).

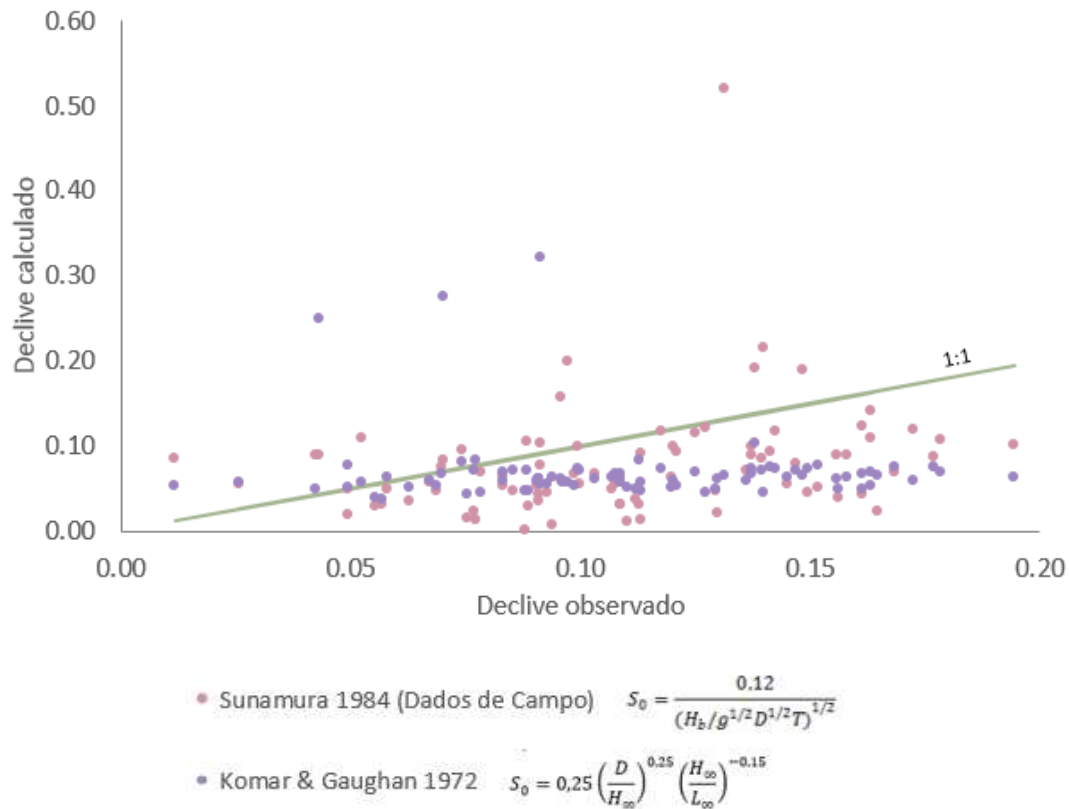


Figura 33: Gráfico comparativo com os declives medidos em campo com os declives calculados a partir dos modelos de Sunamura (1985) para dados de campo ( $R^2=0.0649$ ) e Komar e Gaughan (1972) ( $R^2=0.0115$ ).

O ajuste entre as observações e as previsões, é em geral fraco (Figura 33) com coeficientes de correlação inferiores a 0.07, sendo o modelo de melhor ajuste o de Sunamura (1984). O desajuste observado pode devese não só a limitações dos modelos, mas também à parametrização das condições de agitação marítima e do declive da face de praia, para os dados em laboratório e para modelos pensados para praias com características particulares.

### 5.2.1.3 Declive e evolução do perfil

Para avaliar a relação entre o declive e a evolução (erosão/acreção) de perfil utilizaram-se os dados da praia de Narrabeen.

Os gráficos representados na Figura 34, mostram elevada dispersão ( $R^2 = 0.2333$ ) entre estas duas variáveis. No entanto, quando a praia experimenta acreção (evolução positiva na sua largura) os perfis tendem a ter um declive mais baixo, enquanto numa fase de erosão (evolução da largura negativa) o declive tende a apresentar valores mais elevados. Este resultado parece contradizer a percepção de que praias que experimentam erosão têm declives mais baixos. Esta aparente contradição pode ser explicada pelo grande intervalo de tempo entre levantamentos (entre dois dias a dois meses) que não permite ter uma percepção adequada da evolução da praia, incluindo a resposta morfológica a eventos de alta energia (tempestades).

Nos perfis analisados foi encontrado um perfil onde ocorreu escarpa realizado no dia 12/06/2012 (apresentado na Figura 40b). Esta escarpa encontra-se representada na Figura 34b) a vermelho, representado a segunda maior evolução negativa do perfil registada, e com um declive moderado (0.15).

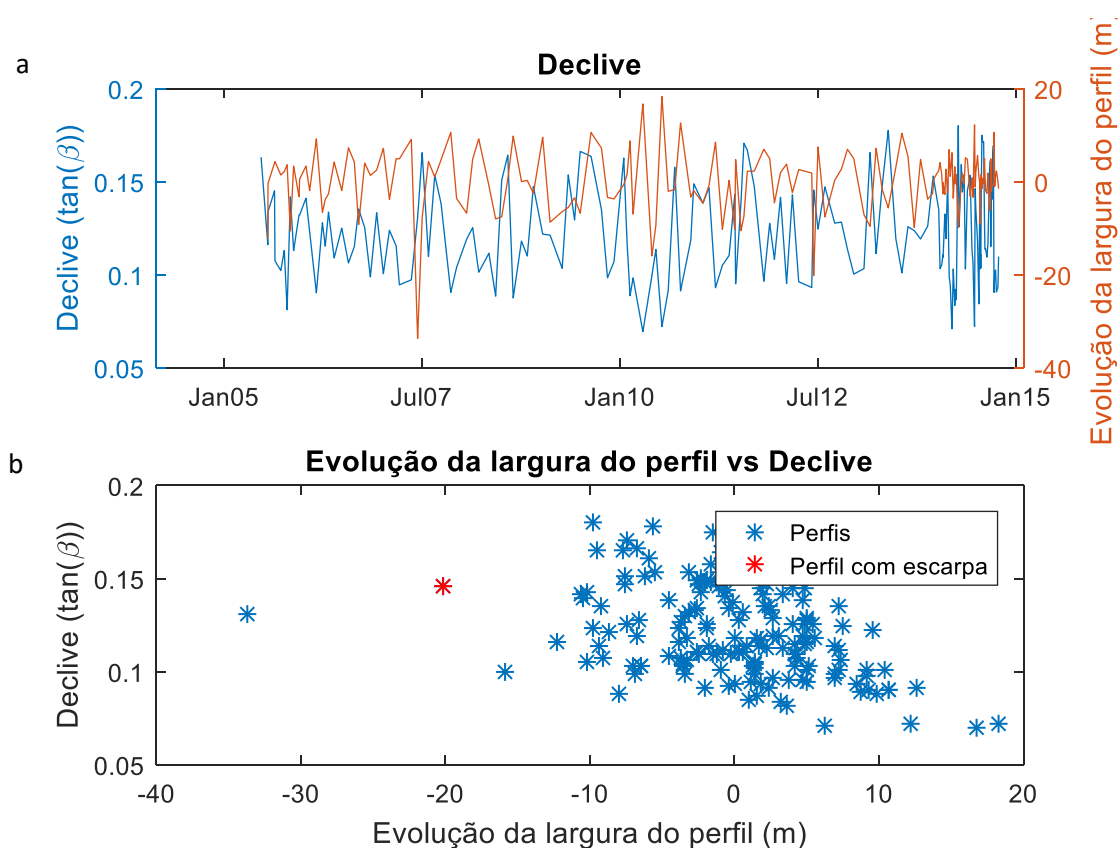


Figura 34: a) Gráfico que representa a variação do declive do perfil de praia com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre o declive e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentando um valor de correlação significativo. Valor de  $R^2 = 0.2333$ .

### 5.2.2 Concavidade e evolução do perfil

O modelo conceptual apresentado no ponto 2 *Hipótese e Objetivos*, relaciona a concavidade com as fases de erosão e acreção. A comparação da concavidade com a evolução da largura do perfil, apesar de não ser sempre evidente, mostrou que quando os valores de concavidade indicam erosão (valores positivos) a largura da praia diminui (Figura 35a). O valor médio da concavidade da face de praia à cota de 0 m calculado foi de 0.0010, sendo o valor maior encontrado 0.0694 e o mínimo de -0.1802. A relação entre a concavidade e a evolução do perfil encontra-se também prejudicada pelo grande intervalo entre levantamentos, pelo que os dados analisados não permitem validar a hipótese de trabalho proposta.

O perfil com escarpa apresenta uma concavidade nula (linear) pois este parâmetro foi medido fora da zona de escarpa.

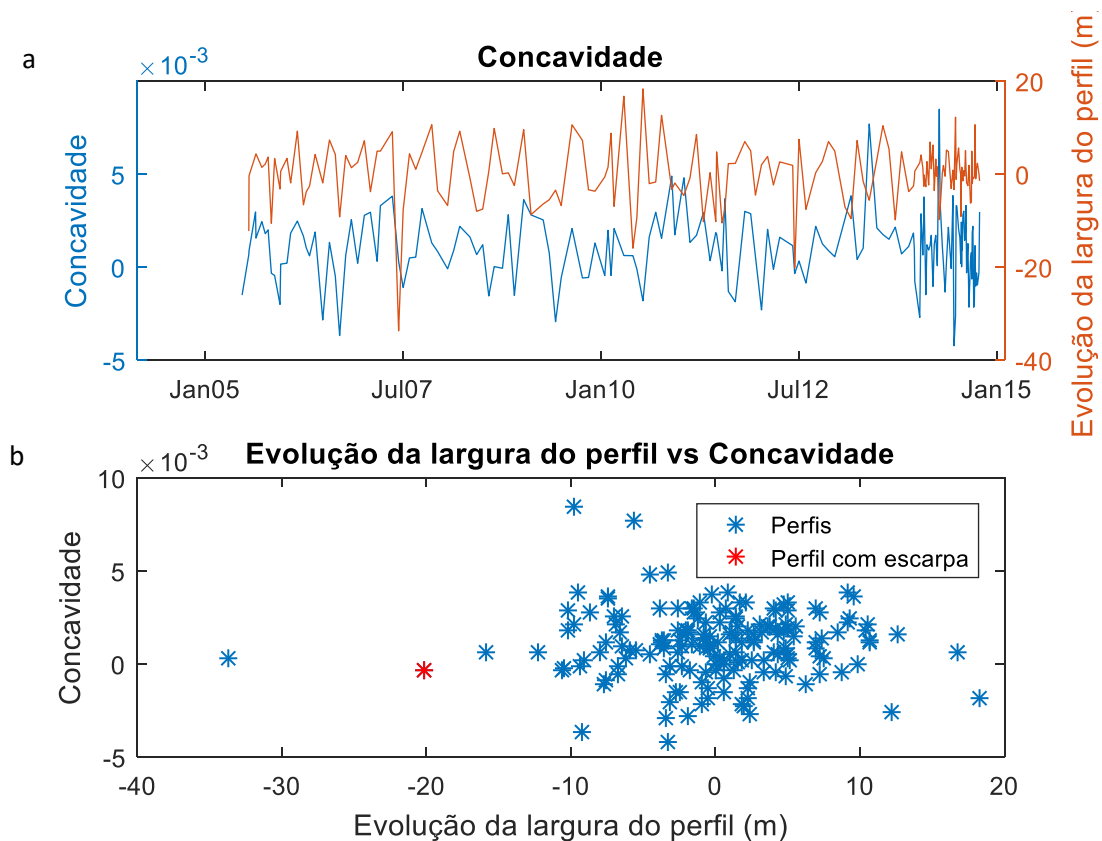


Figura 35: a) Gráfico que representa a variação da concavidade do perfil de praia com o tempo, acompanhado pela variação evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre a concavidade e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de  $R^2 = 0.0159$ .

### 5.2.3 Evolução do perfil e agitação marítima

Com o objetivo de verificar se as tendências de evolução do perfil (erosão/acreção) se relacionam com as condições de agitação marítima incidente, analisou-se a correlação entre estas variáveis na praia de Narrabeen.

Observou-se pela Figura 36a e b, existir uma relação fraca entre  $H_s$  e a evolução da largura do perfil embora o valor de correlação seja baixo ( $r^2=0.0577$ ). Verificou-se que aos eventos mais energéticos ( $H_s$  superior a 3 m) estão associados episódios de erosão muito significativos. Também nesta relação a ocorrência de escarpa se relaciona inequivocamente com as alturas significativas mais elevadas, sendo que a evolução da largura de praia no momento que ocorreu a escarpa se associa a uma altura na ordem de 3.58 m.

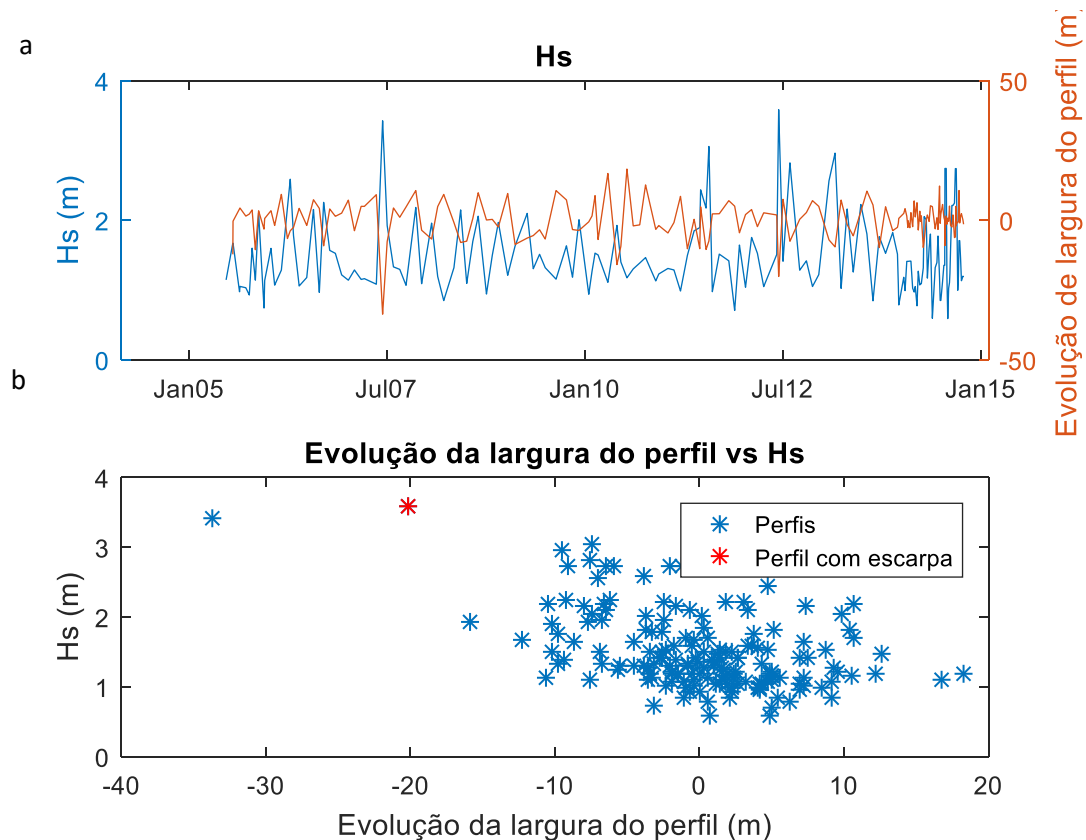


Figura 36: a) Gráfico que representa a variação da altura significativa com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre  $H_s$  e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentou um valor de correlação significativo. Valor de  $R^2 = 0.0577$

Foi também relacionado o  $T_p$  (associado a  $H_s$  máxima verificada no dia do levantamento), não se tendo observado qualquer correlação com a evolução do perfil (Figura 37). O perfil com escarpa foi associado ao valor 11.30 s de  $T_p$ .



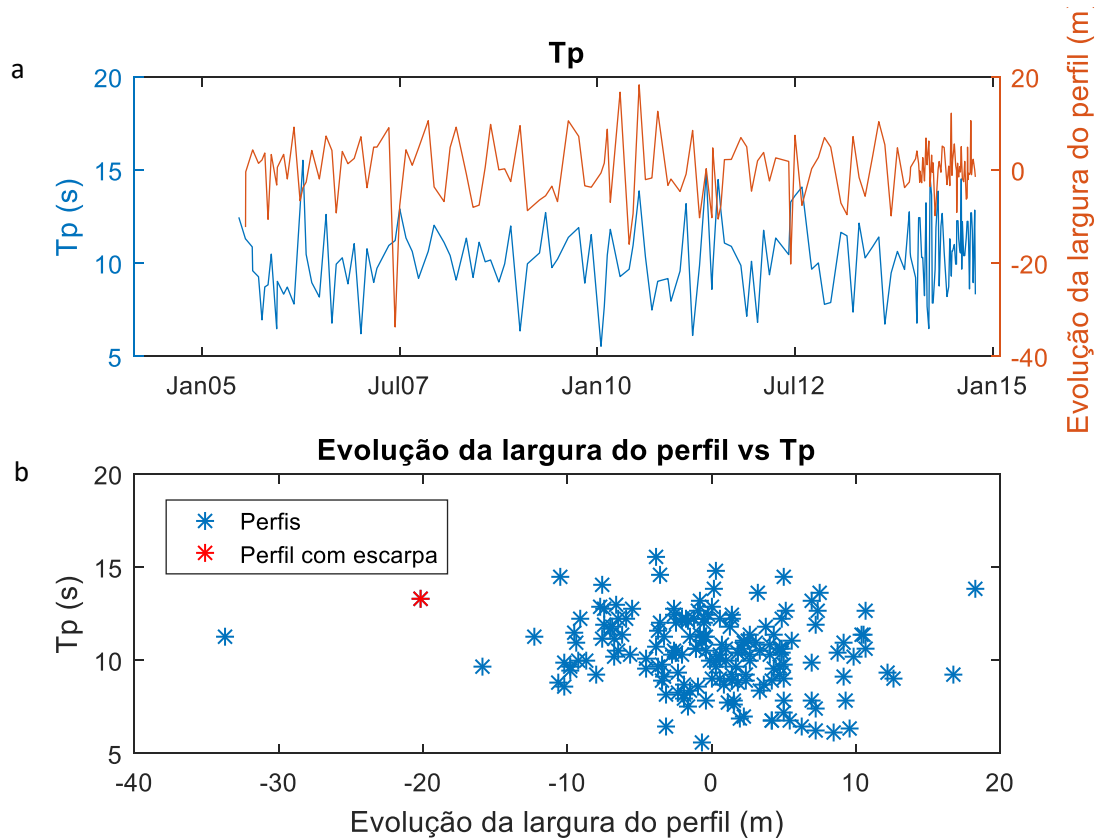


Figura 37: a) Gráfico que representa a variação do período de pico com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre  $T_p$  e a evolução da largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de  $R^2 = 0.0284$

No que diz respeito à direção das ondas verificou-se que, a direção média das ondas aos 10 m de profundidade, apresentavam um rumo de  $111.50^\circ$  (ESE) variando entre  $118.34^\circ$  (ESE) e  $94.36^\circ$  (E). Não foi possível observar qualquer relação entre a evolução da largura do perfil com a direção das ondas incidentes na praia (Figura 38). Contudo, é de salientar que as ondas que provocaram maior erosão estavam associadas a um rumo próximo do modal. Em relação ao perfil com escarpa, este foi formado com valores de direção médios ( $115.25^\circ$ )

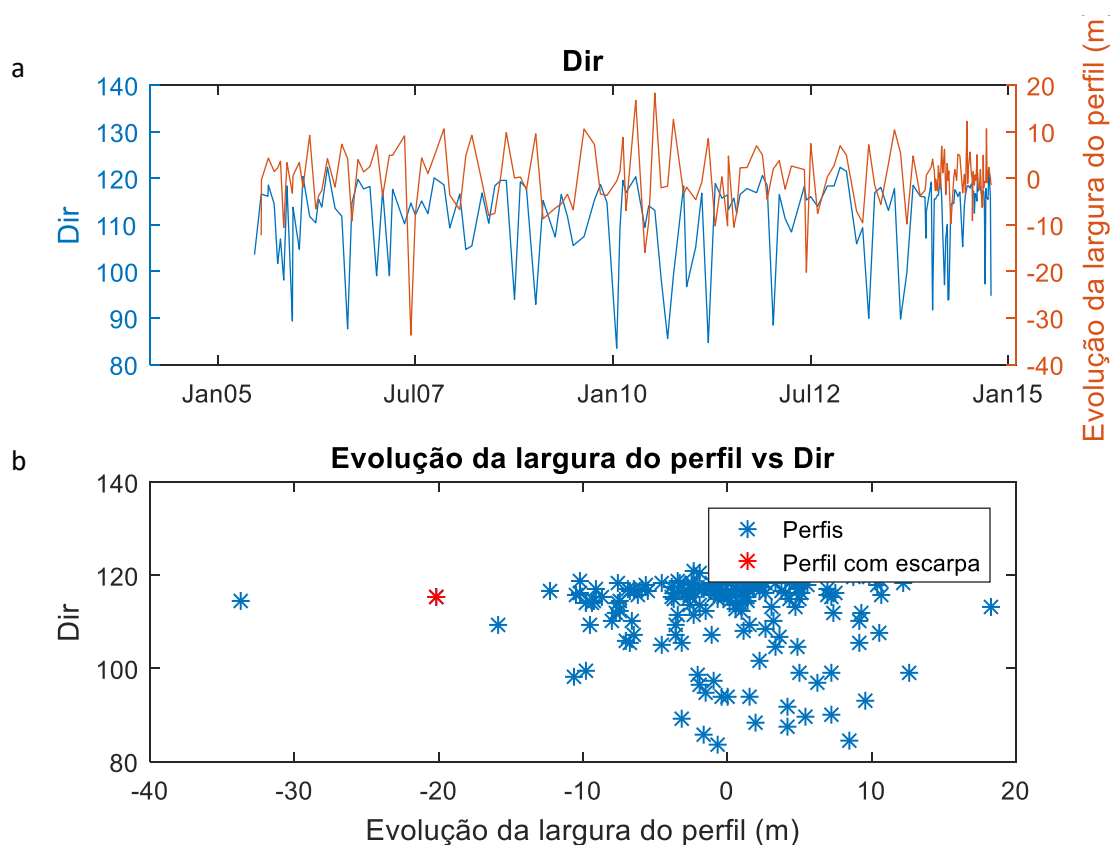


Figura 38: a) Gráfico que representa a variação da direção das ondas com o tempo, acompanhado pela variação da evolução da largura do perfil. b) Gráfico que apresenta a correlação entre Dir e a largura do perfil à cota 0, não apresentado um valor de correlação significativo. Valor de  $R^2 = 0.0164$

Foi ainda testada a relação entre a evolução do perfil e o parâmetro  $K^*$ , o que segundo Sunamura (1985) engloba os principais parâmetros de agitação que condicionam a evolução morfológica da praia. Nesta comparação foram utilizados todos os dados de Narrabeen. Os valores de  $K^*$  variam entre 1.8067 e 31.6875, verificando-se que os episódios de maior erosão (redução da largura do perfil) se associam a valores de  $K^*$  elevados, superiores a 18. Estes resultados suportam o modelo de resposta morfológica proposto por Sunamura (1985).

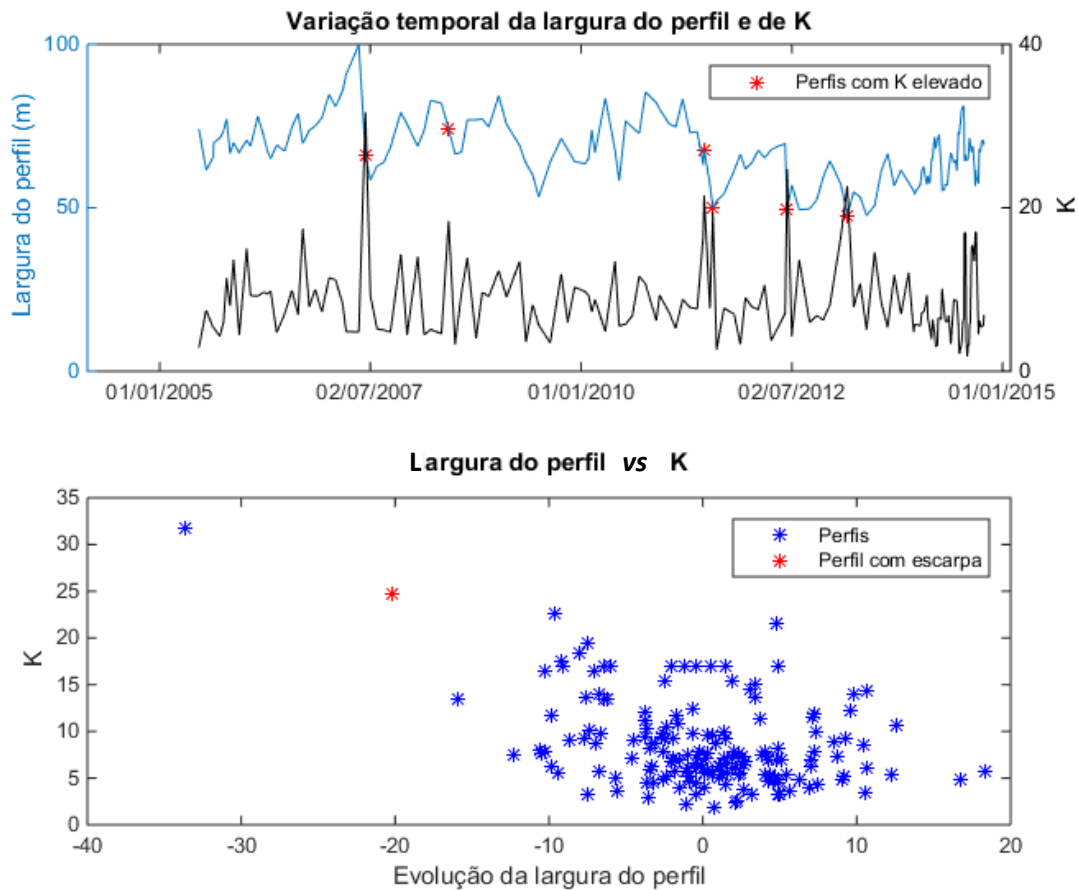


Figura 39: a) Gráfico que relaciona a largura do perfil com o parâmetro  $K^*$  ao longo do tempo. B) Gráfico de correlação entre a evolução da largura do perfil com o parâmetro  $K$ , onde se encontra representado o perfil com escarpa.

Para se compreender a resposta morfológica associada a ocorrência de eventos erosivos, representam-se na Figura 40 os perfis que estão associados a valores dos parâmetros  $K^*$  mais elevados.

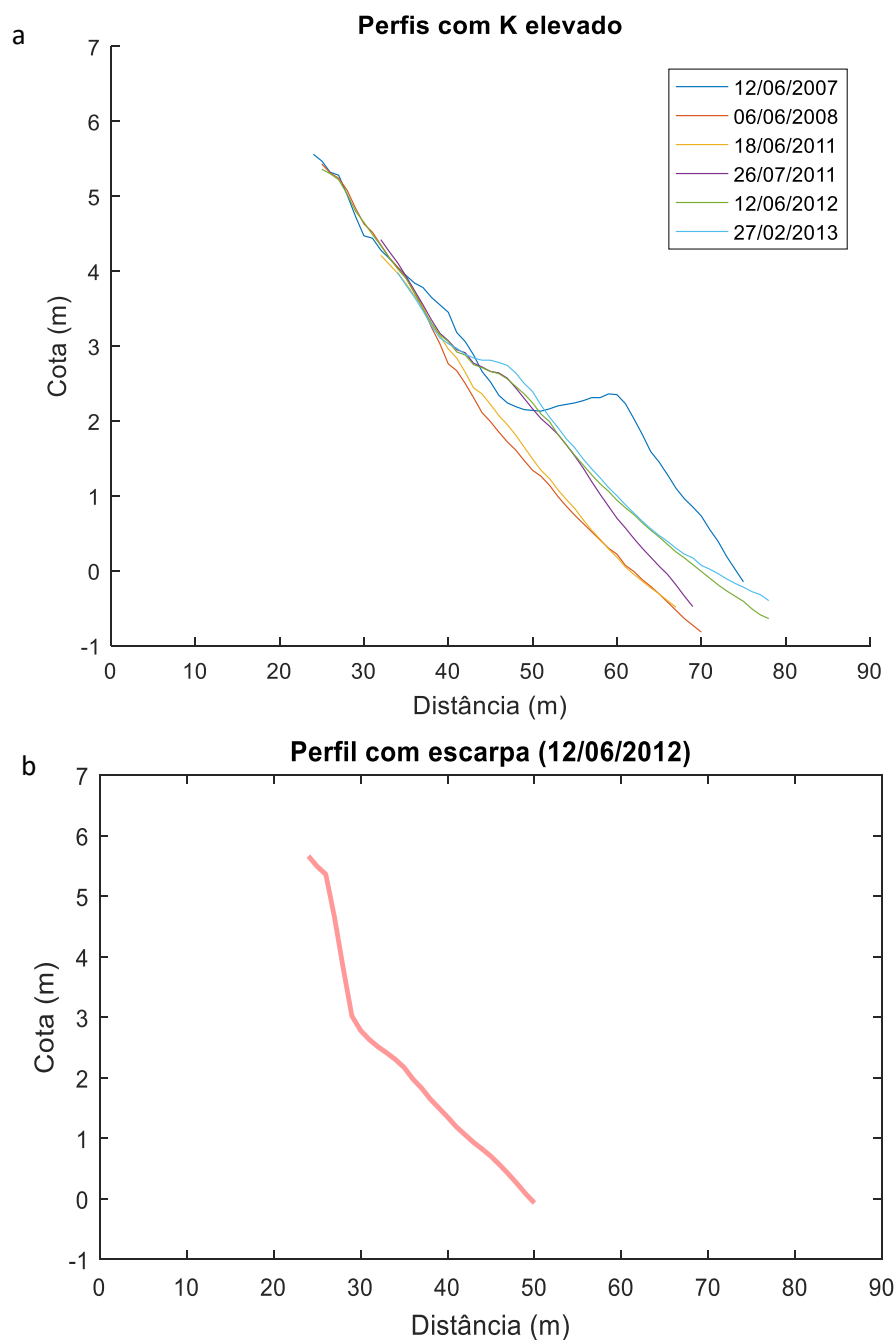


Figura 40: a) Perfis realizados na praia de Narrabeen que apresentam valores de  $K^*$  superiores a 18. b) Perfil onde se detetou com escarpa.

A maior parte destes perfis corresponde a condições, marcadamente erosivas, em que a praia não tem berma e a face articula diretamente com a duna pelo que, a ocorrer, a escarpa se desenvolve no limite terrestre da praia, que não se encontra levantada nestes dados. A única exceção a esta situação ocorre quando o temporal impacta a praia numa situação de verão (condição representada na data 12/06/2007), com uma berma extremamente larga onde apesar do elevado recuo, este não excede a largura da mesma.

## 5.3 Ocorrência e condições de geração escarpas de praia

### 5.3.1 Dados de campo

A partir da análise da base de dados fotográfica do projeto CISML, detetaram-se seis situações onde ocorreram escarpas de praia. Estas escarpas foram observadas nas praias de Pedras Negras, Paredes de Vitória, Santa Cruz e Fonte da Telha.

#### 5.3.1.1 Pedras Negras

A praia de Pedras Negras foi monitorizada durante o projeto CISML da ARH Tejo durante dois anos realizando-se perfis mensais. Segundo Silveira *et al.* 2013 durante o período de monitorização o seu comportamento foi idêntico com declividade intermédia e com berma de praia intermitente. Existe uma duna que atinge cotas de 13 m de altura em relação ao nível medio do mar. As variações sazonais no perfil ocorrem em toda a sua área terminando na base da duna. O valor médio do diâmetro do grão é de 0.5 mm. Considera-se que a praia de Pedras Negras é aberta e exposta tendo uma orientação ortogonal à agitação incidente, sendo por isso considerada bastante energética onde é usual a ocorrência de escarpas de dunas (Silveira *et al.*, 2013). Na campanha de 07/03/2011 detetou-se a presença de uma escarpa de praia (Figura 41).

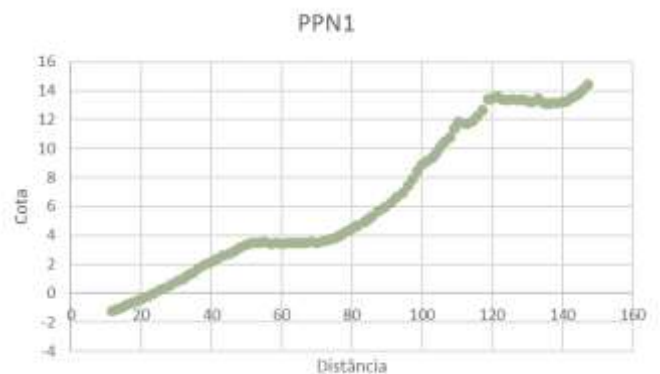


Figura 41: Fotografia da escarpa formada na praia de Pedras Negras em 07/03/2011 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013

Na campanha de 26/06/2013 na praia de Pedras Negras também se detetou a presença de uma escarpa de praia (Figura 42).

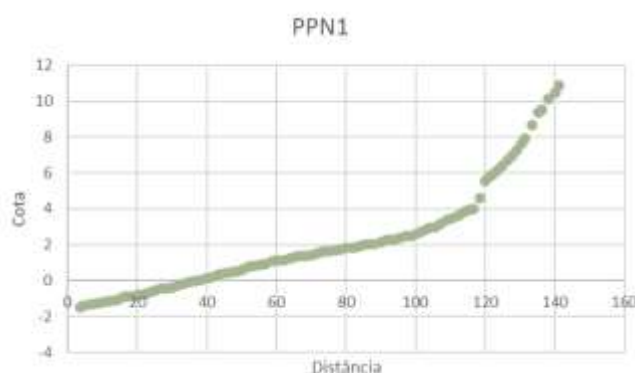
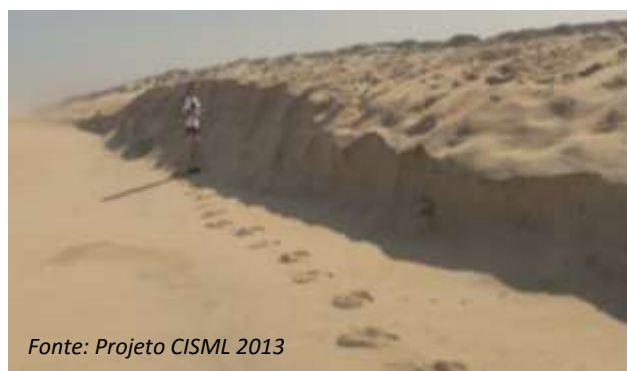


Figura 42: Fotografia da escarpa formada na praia de Pedras Negras em 26/06/2013 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013

### 5.3.1.2 Paredes de Vitória

A praia de paredes de Vitória apresenta tipicamente características refletivas, tendo uma declividade considerada intermédia (Silveira *et al.*, 2013). A praia é relativamente extensa (cerca de 1800 m) e pode apresentar um sistema lomba-canal seno que a linha de costa é traçada na base de pequenas dunas existentes ou na base das arribas. A presença de bermas de praia é rara e quando existe é alvo de remobilização por via mecânica na época balnear (forçamento antropogénico). Não apresenta nenhum padrão de variação sazonal ao contrário da praia da Fonte da Telha (Silveira *et al.*, 2013). Na sequência do temporal que ocorreu dias antes da campanha realizada em 13/12/2012, e, aliado à elevada pluviosidade e alteração do curso da ribeira de Paredes que se encontra norte, ocorreu a formação de uma escarpa de grandes dimensões presença de uma grande escarpa (Figura 43).

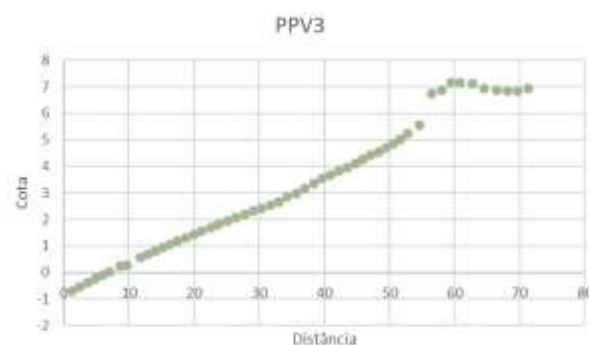


Figura 43: Fotografia da escarpa formada na praia de Paredes de Vitória em 13/12/2012 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013.

### 5.3.1.3 Santa Cruz

A praia de Santa Cruz tem cerca de 4.4 km de comprimento sendo limitada por dois promontórios a sul e a norte e a linha de costa é marcada na base das arribas presentes. Apresenta uma declividade intermédia a refletiva. Verificou-se a presença de uma ou duas bermas de praia sendo estas resultantes de remobilização antropogénica de sedimentos (Silveira *et al.*, 2013). Na campanha de 13/03/2013 detetou-se a presença de uma escarpa, com aparência antiga (Figura 44).

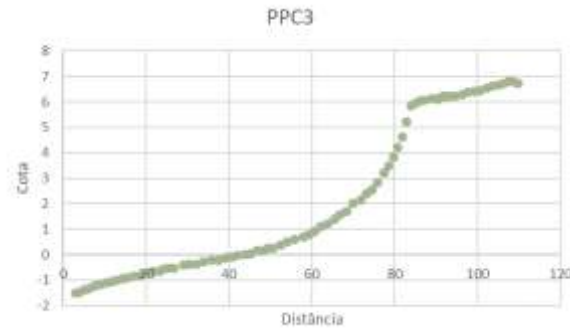


Figura 44: Fotografia da escarpa formada na praia de Santa Cruz a 13/03/2013 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013.

No dia 12/06/2013, durante uma campanha à praia de Santa Cruz, observou-se novamente uma escarpa de praia (Figura 45). Esta escarpa de praia também tem uma aparência antiga notando-se sinais de erosão exteriores ao forçamento que lhe deu origem.

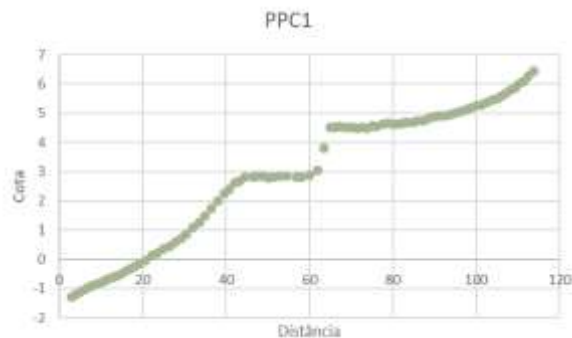


Figura 45: Fotografia da escarpa formada na praia de Paredes de Santa Cruz em 12/06/2013 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013.

#### 5.3.1.4 Fonte da Telha

A praia da Fonte da Telha foi também selecionada para a monitorização devido a intensa actividade antropogénica na zona. Segundo Silveira *et al.*, (2013) é considerada uma praia refletiva, apresentando geralmente berma e duna, sendo que nos perfis realizados nas campanhas se nota uma influência sazonal muito grande, notando-se mais erosão no inverno e mais acreção no verão. No inverno de 2011 foi observada uma escarpa de praia com dimensões considerais (Figura 46).

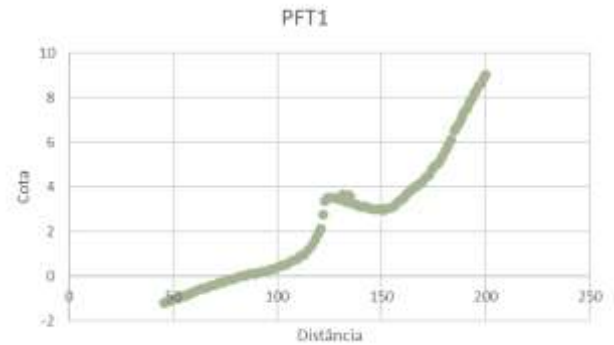


Figura 46: Fotografia da escarpa formada na praia da Fonte da Telha em 21/04/2011 e o perfil feito por levantamento com DGPS RTK no mesmo local. Fonte: Projeto CISML 2013



### 5.3.2 Condições de geração de escarpa

#### 5.3.2.1 Pedras Negras

No registo de dados de agitação ao largo não foi possível detetar variações bruscas nos 15 dias anteriores à campanha de 07/03/2011, pelo que se aponta para que a agitação que provocou a formação da escarpa terá sido anterior (Figura 47). Para apoiar esta hipótese verificou-se, pela fotografia, que a escarpa já apresentava sinais de erosão que não estão relacionados com a sua formação.

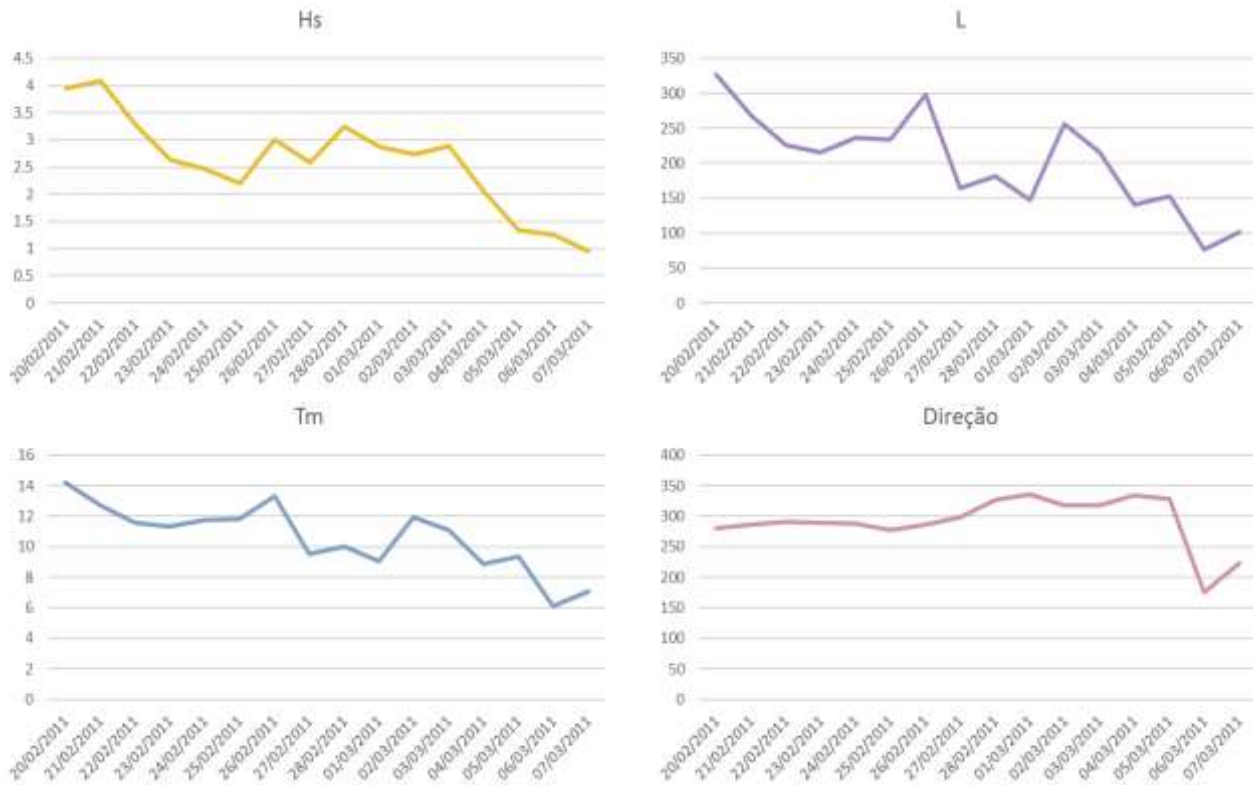


Figura 47: Dados de Altura significativa ( $H_s$  em m), comprimento de onda ( $L$  em m), período médio ( $T_m$  em s) e a Direção nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 07/03/2011 em Pedras Negras.

No registo de agitação dos 15 dias antes da campanha de 26/06/2013, quando se detetou a escarpa, verifica-se que a maior variação dos parâmetros  $H_s$ ,  $L$ ,  $T_m$  em relação aos valores usuais ocorreu a dia 18/06/2013, 10 dias antes da campanha (Figura 48). A direção das ondas não se alterou significativamente. Notou-se também que a escarpa aparentava não ser muito recente, já tendo sofrido processos erosivos que atenuaram a sua forma.

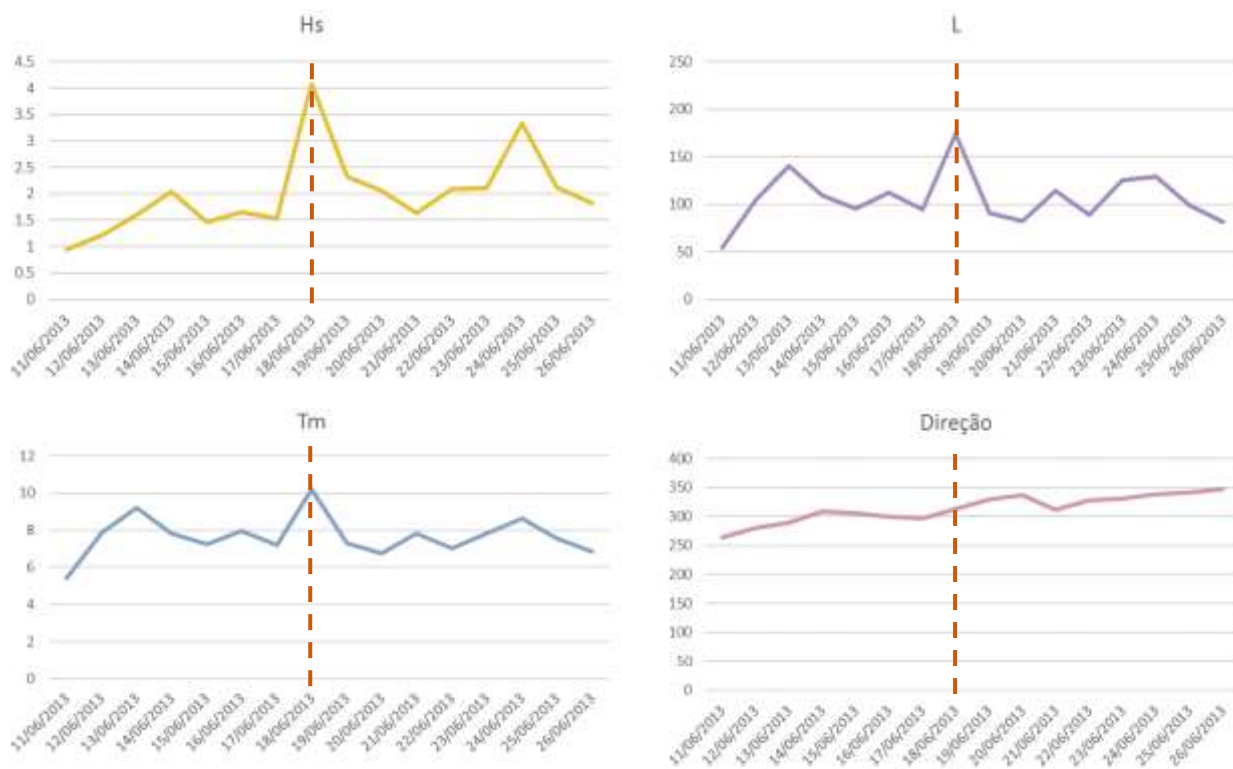


Figura 48: Dados de Altura significativa ( $H_s$  em m), comprimento de onda ( $L$  em m), período médio ( $T_m$  em s) e a Direção nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 26/06/2013 em Pedras Negras. Traços a laranja marcam variações bruscas.

### 5.3.2.2 Paredes de Vitória

Como se pode verificar pelos dados da agitação marítima nos 15 dias anteriores a 19/12/2012, as características das ondas são bastante hostis com alturas significativas que chegam a atingir os 5 m, exceto a direção que não se alterou. Todos os outros parâmetros foram ampliados nos últimos dias, o que pode ter provocado a formação da escarpa (Figura 49).

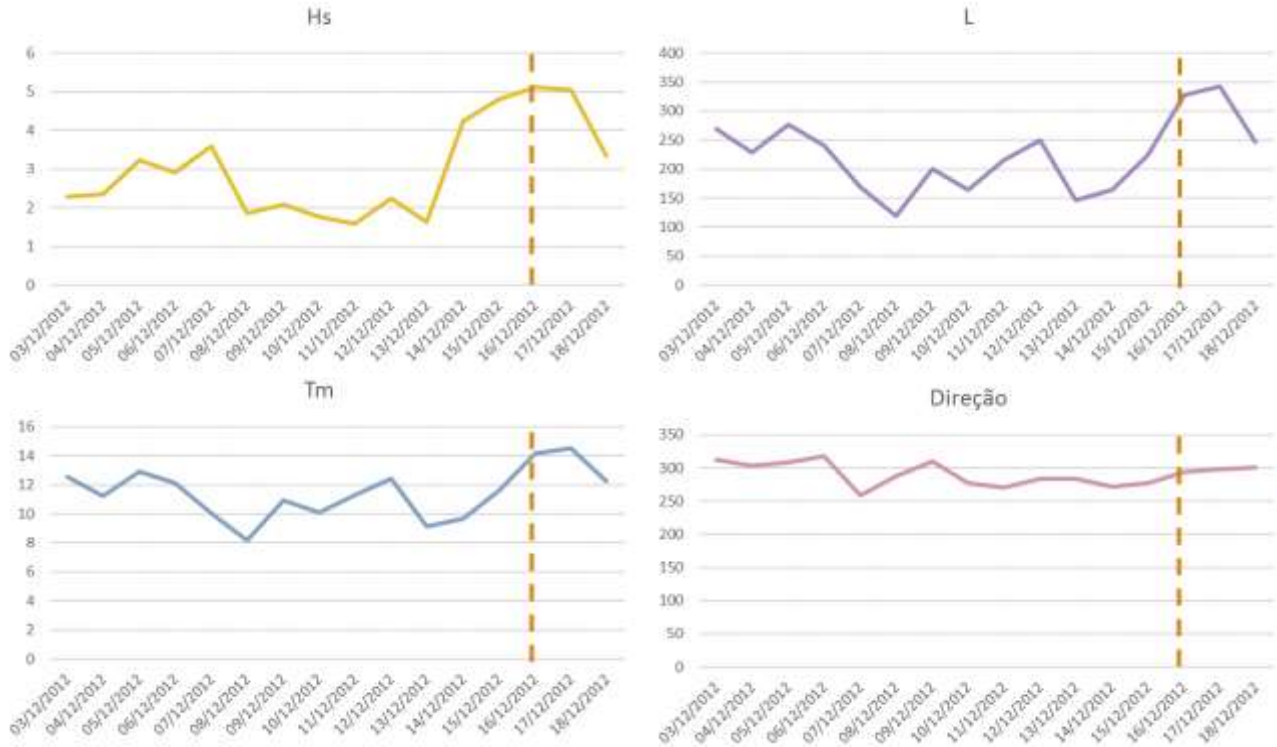


Figura 49: Dados de Altura significativa ( $H_s$  em m), comprimento de onda ( $L$  em m), período médio ( $T_m$  em s) e a Direção nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 19/12/2012 em Paredes de Vitória. Traços a laranja marcam variações bruscas.

## 5.3.2.3 Santa Cruz

Os dados referentes aos 15 dias anteriores à data da campanha (13/03/2013) apresentam dois picos de intensidade das características da agitação marítima. Devido ao aspeto pouco recente desta escarpa admitiu-se que esta terá sido formada em resposta ao clima de agitação de dia 06/03/2013, essencialmente relacionada com o elevado comprimento de onda e período médio, apesar do pico de altura significativa só ter ocorrido a dia 10/03/2013 (Figura 50).

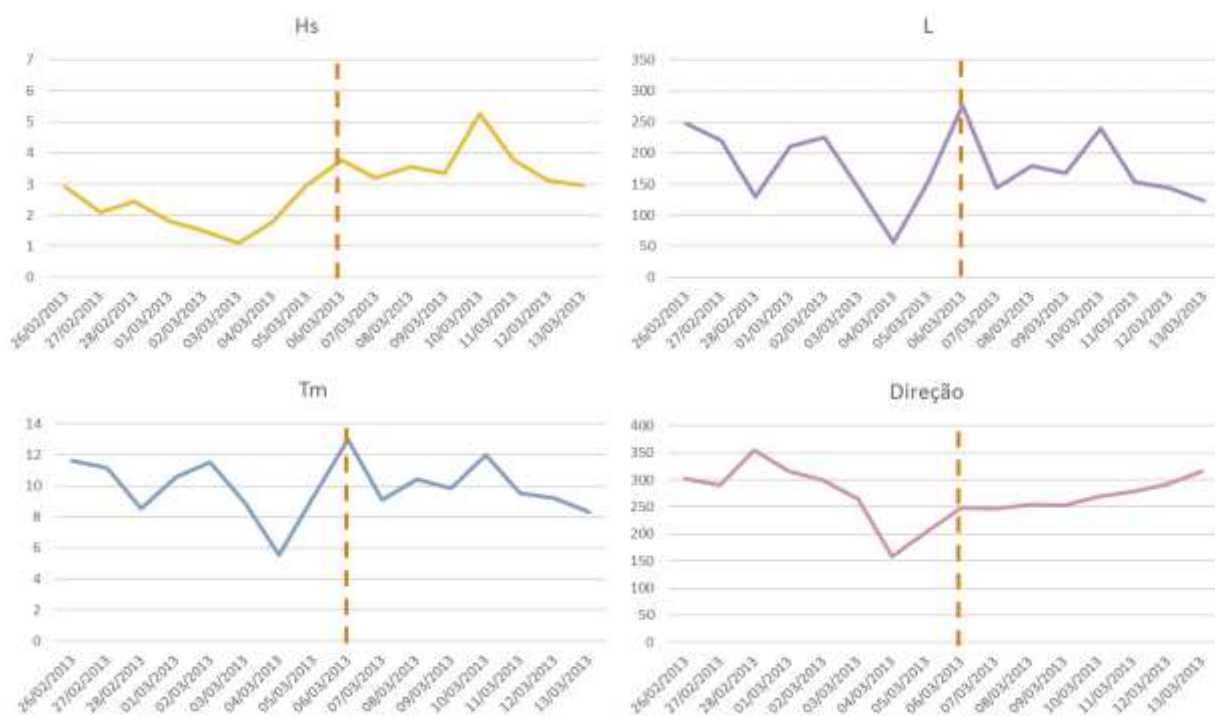


Figura 50: Dados de Altura significativa ( $H_s$  em m), comprimento de onda ( $L$  em m), período médio ( $T_m$  em s) e a Direção das ondas nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 13/03/2013 em Santa Cruz. Traços a laranja marcam variações bruscas.

Foi encontrada outra escarpa na praia de Santa Cruz, no mesmo ano, no mês de junho. Pela sua aparência pouco recente e por se verificarem variações relevantes, no regime de agitação, a dia 29/06/2013 (14 dias antes da campanha que ocorreu a 12/06/2013) pôs-se a hipótese que essas condições de agitação anómalas deram origem à formação desta escarpa (Figura 51). As variações no regime de agitação após o pico observado a dia 29 são menos significativas. Uma vez mais as alterações observadas na direção das ondas são pouco relevantes.

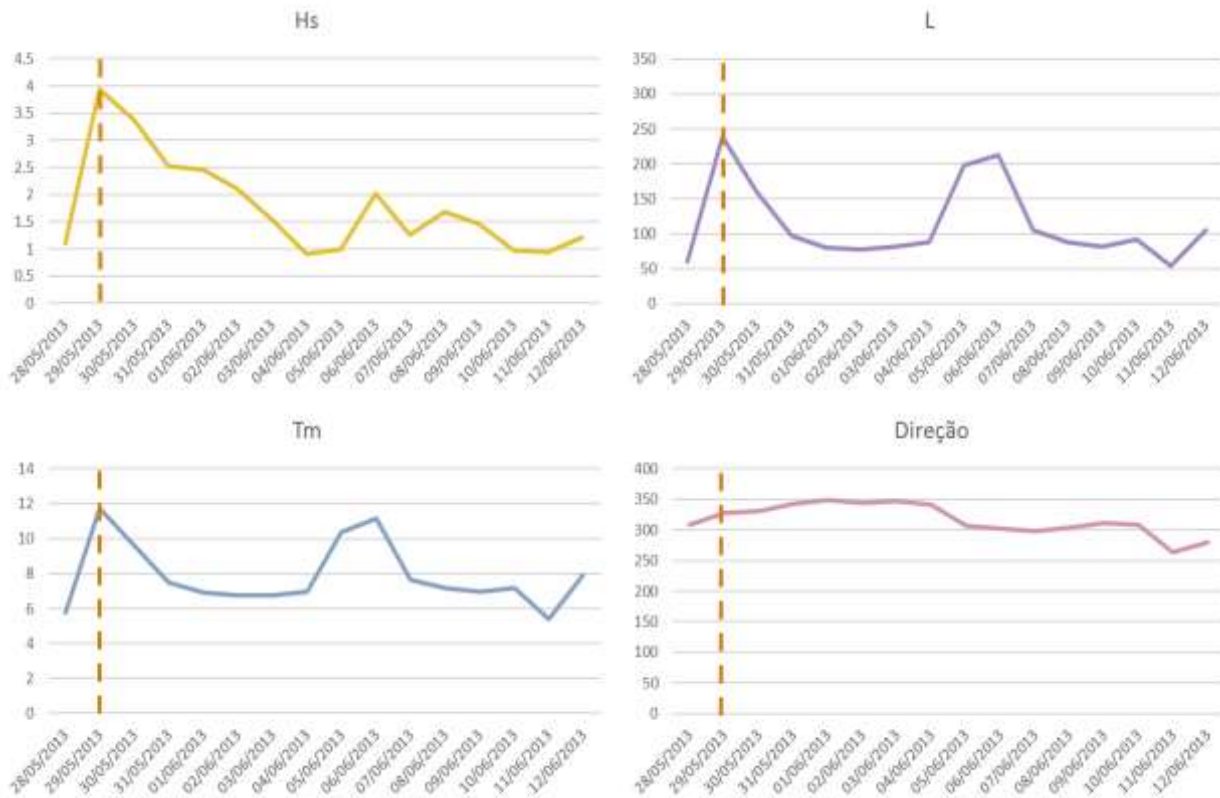


Figura 51: Dados de Altura significativa (Hs em m), comprimento de onda (L em m), período médio (Tm em s) e a Direção das ondas nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 12/06/2013 em Santa Cruz. Traços a laranja marcam variações bruscas.

### 5.3.2.4 Fonte da Telha

Em relação aos dados de agitação marítima analisados nos 15 dias anteriores verificou-se a presença de um pico que demonstra uma alteração brusca no clima de agitação marítima no dia 19/04/2012, dois dias antes da campanha. Pode-se relacionar esta alteração brusca com a formação da escarpa de praia (Figura 52).

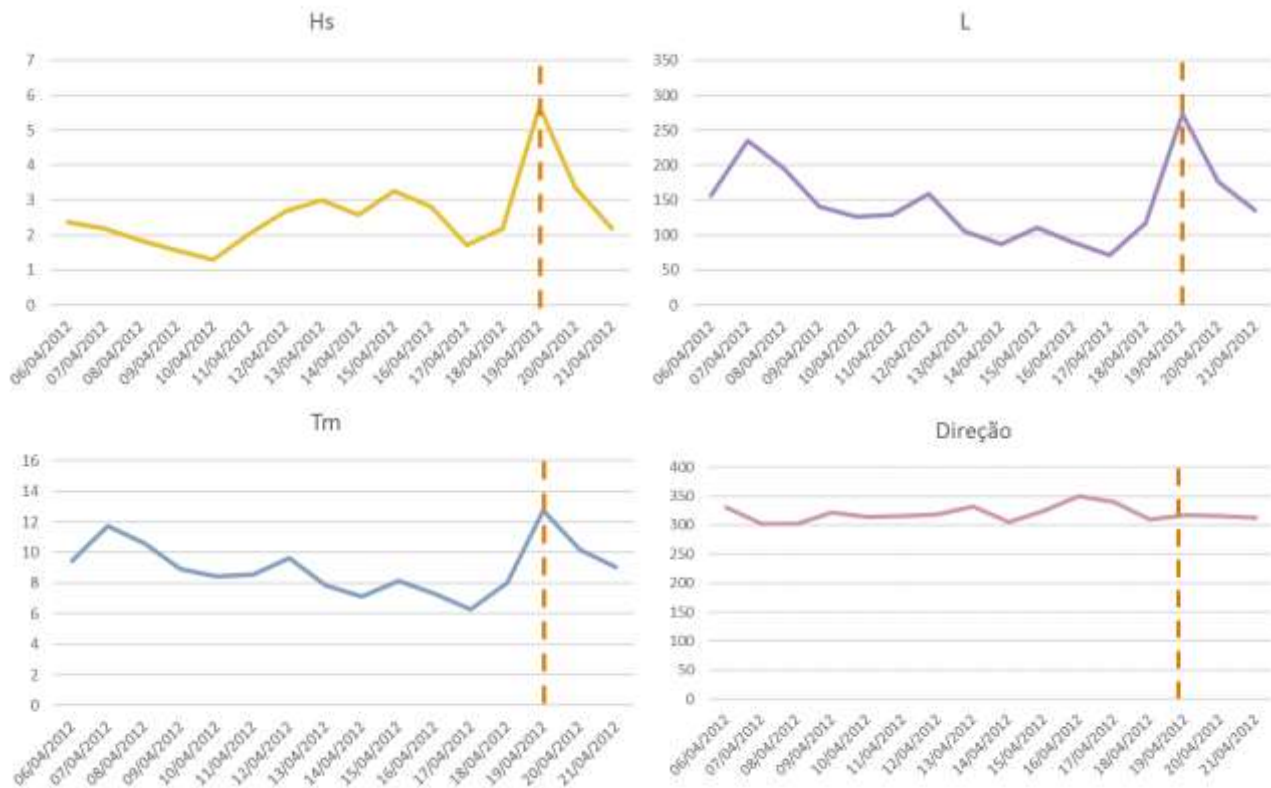


Figura 52: Dados de Altura significativa ( $H_s$  em m), comprimento de onda ( $L$  em m), período médio ( $T_m$  em s) e a Direção das ondas nos 15 dias anteriores da campanha realizada a 21/04/2012 a Fonte da Telha. Traços a laranja marcam variações bruscas.

### 5.3.2.5 Parâmetro $K^*$

Para averiguar a relação do parâmetro morfodinâmico  $K^*$  com a ocorrência de escarpas, foi calculado o parâmetro  $K^*$  (Equação 6) para o intervalo de tempo que compreendeu a monitorização e identificação de escarpas na base de dados CISML (entre 01/01/2011 e 31/12/2014). O cálculo considerou a série de dados de agitação ao largo, e a média da dimensão dos sedimentos das praias afetadas por escarpas (diâmetro médio de 0.5 mm).

Ao considerar-se um diâmetro igual para as diferentes praias escarpadas, estar-se-á a introduzir uma fonte de erro na determinação deste parâmetro. No entanto, devido à sua relação inversa de  $K^*$  com o diâmetro das partículas, o seu comportamento ao longo do tempo estará bem representado, embora a sua magnitude possa variar de praia para praia.

A Figura 53 apresenta o comportamento de  $K^*$  ao longo do período considerado, verifica-se uma alternância de picos deste parâmetro ao longo do tempo, sendo que a sua variação se encontra entre 0 e aproximadamente 180. Neste gráfico encontra-se ainda representadas as datas das campanhas com identificação de escarpa (pontos vermelhos), as datas às quais se considerou a sua formação (pontos verdes) e as datas de todas as campanhas realizadas a estas praias (campanhas com e sem identificação de escarpa – linhas verticais azuis-claro).

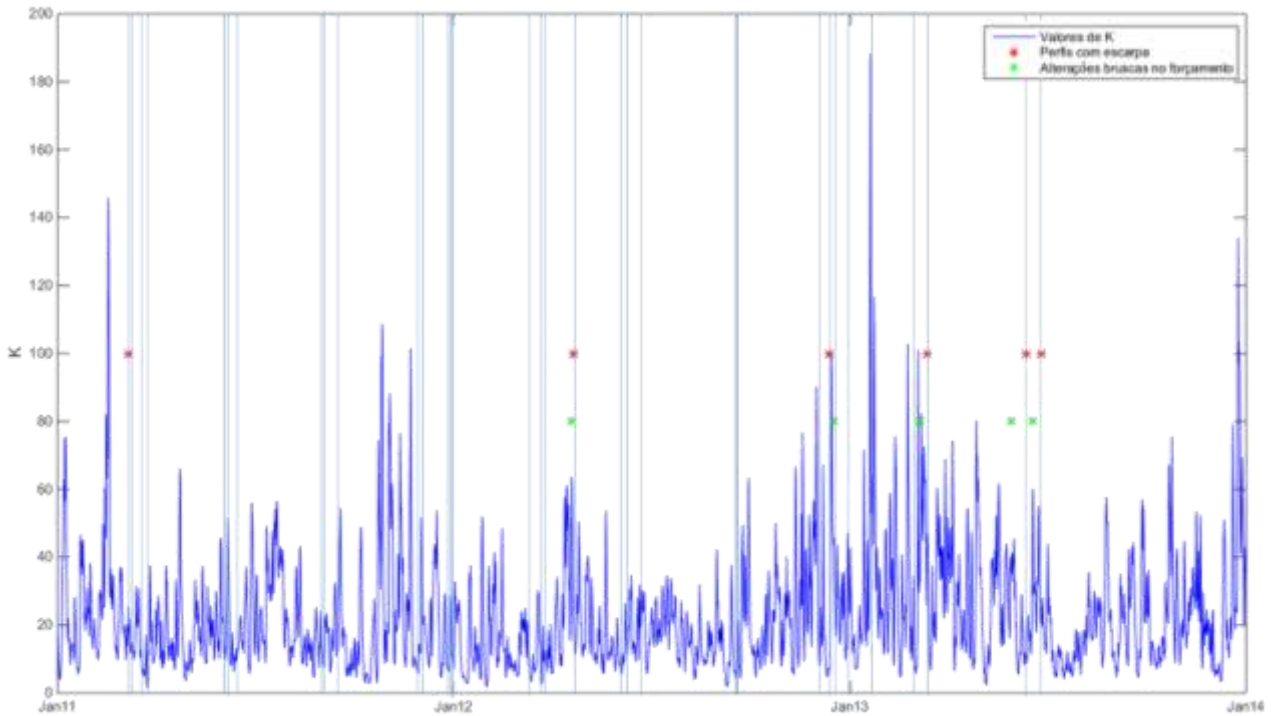


Figura 53: Gráfico onde se projetou os valores de  $K^*$  calculados para a serie temporal contida nas campanhas analisadas da ARH Tejo, com como os perfis onde se detetou escarpas e as datas que se associaram à formação das mesmas. As riscas azuis representam as campanhas realizadas às praias onde se detetou a ocorrência de escarpas.

Verifica-se que os registos encontrados de formação de escarpa de praia, se encontram de algum modo associados a picos no parâmetro  $K^*$ , embora se verifique um natural desfasamento temporal, devido à data da realização das campanhas não coincidir com a formação da escarpa.

Por outro lado, alguns valores muito elevados do parâmetro  $K^*$  não estão associados ao reconhecimento de escarpa, isto pode dever-se, por um lado ao facto de as campanhas não terem sido realizadas logo após o as condições com elevado potencial e a ter ocorrido escarpa seu registo foi apagado, ou as condições que geraram um elevado valor de  $K^*$  não teve mesmo capacidade de geração de escarpa.

Na Tabela 14 encontram-se as datas dos picos de  $K^*$  próximos das datas das campanhas onde se verificou a existência de escarpa. Verificou-se que os dias passados entre picos de  $K^*$  podem variar entre 3 a 24 dias.

Tabela 14: Informações sobre a data dos picos de  $K^*$ , datas das campanhas onde foram detetadas as escarpas e os dias passados entre o pico de  $K^*$  e as datas das campanhas com escarpas.

<b>Datas de picos de <math>K^*</math></b>	<b>Datas das campanhas onde foram detetadas escarpas</b>	<b>Dias passados entre picos de <math>K^*</math> e as campanhas com escarpa</b>
<b>16/02/2011</b>	07/03/2011	22
<b>18/04/2012</b>	21/04/2012	3
<b>02/12/2012</b>	13/12/2012	11
<b>05/03/2013</b>	13/03/2013	8
<b>18/05/2013</b>	12/06/2013	24
<b>18/06/2013</b>	26/06/2013	8

Como se pode verificar os intervalos de tempo entre os picos de  $K^*$  e os dias das campanhas são muito heterogêneos (Figura 53). Esta situação foi justificada por duas razões. A primeira a mais importante é a periodicidade das campanhas realizadas, que impediu verificar se em outros picos de  $K^*$  se formou ou não escarpa, outra é que se está a aplicar um modelo otimizado para praias do tipo microtidal, o que poderá levar a alguns desajustes nos resultados. Muito embora existam pequenos desajustes nos resultados o parâmetro morfodinâmico  $K^*$ , parecem funcionar bem como indicador de potencial para a formação de escarpa.



## 6 Conclusões e perspectivas

Este trabalho pretendeu avaliar as condições associadas à formação de escarpas de praia. Para esse efeito, utilizaram-se dados de campo obtidos em campanhas específicas e ainda outros dados, compilados e sintetizados em repositório de dados do litoral português e australiano. Recorreu-se a, ainda, a ferramentas de modelação de processos costeiros, nomeadamente a modelação física com a construção de relevos artificiais para monitorizar a formação e evolução de escarpas.

O trabalho desenvolvido mostrou que a geração de escarpas de praia esta associada a condições de erosão do perfil transversal, que ocorrem devido à variação da agitação marítima, num curto espaço de tempo, à ação dos espraços, à subida da maré e às condições morfológicas iniciais do perfil de praia (perfil de verão ou perfil de inverno) na medida em que condicionam a quantidade de sedimento disponível na praia.

Nas campanhas de campo verificou-se que a formação de escarpas de praia se encontra associada a declives que são significativamente maiores do que o declive de equilíbrio. Observou-se também que após a geração de uma escarpa incipiente esta evoluiu paralelamente a si própria com declive aproximado de 0.60. Este declive pode estar associado ao ângulo de atrito interno da areia relativamente solta (30°)(Feck et al., 1974). Também se verificou que só existem condições para a geração de escarpas de praia enquanto o espraço não ultrapassa a crista do relevo. Por analogia, para ocorrer a formação da escarpa de praia a maré terá de estar na fase da estofa de preia-mar.

Em relação à geração de escarpas em regime natural, a análise das duas bases de dados disponíveis, permitiu ganhar conhecimentos sobre o processo. Apesar destas bases de dados terem imensa informação, a frequência de aquisição de dados topográficos (de dois dias a dois meses em Narrabeen e de três meses no projeto CISML) não permite compreender completamente o efeito das variações do forçamento na evolução da praia. Esta impossibilidade existe devido ao desfazamento temporal que necessariamente existe entre a atuação do processo e a resposta morfológica da praia. Os resultados mostram ainda que a herança morfológica das praias é determinante na formação de escarpas uma vez que os baixos declives associados aos perfis de inverno (praia com menos volume de sedimentos) limitam a capacidade de formação de escarpas na praia. Nestas ocasiões a escarpa ocorre sempre na base da duna.

Verificou-se que o parâmetro morfodinâmico  $K^*$  do modelo Sunamura (1985) constitui uma boa aproximação para o reconhecimento das condições para a formação de escarpas de praia. As escarpas identificadas nas bases de dados analisadas apresentam uma correspondência com valores de  $K^*$  elevados. No entanto, em determinadas características de agitação marítima com elevado potencial para a formação de escarpas (*i.e.* valores de  $K^*$  elevados) não foram observadas escarpas, nas bases de dados, porque: 1) o processo de escarpa efetivamente não se concretizou (e o modelo não se ajustou completamente às praias estudadas) ou 2) porque o fenómeno de escarpa pode não ter sido registado (devido ao elevado período entre campanhas, na ordem de trimestral e mensal respetivamente para CISML e Narrabeen).

Por este tema, formação de escarpas de praia, ser um assunto ainda pouco explorado na literatura, houve a necessidade de desenvolver novos modelos conceptuais e criar novas abordagens de validação que nem sempre foram bem-sucedidas, mas que conduziram ao desenvolvimento de novas perspectivas neste domínio.

Nesse sentido, com base neste trabalho, desenvolveu-se um modelo conceptual baseado no trabalho desenvolvido nesta tese e sobre os pontos que se achou importante, para a compreensão da previsão da formação de escarpas (Figura 54). Neste modelo conceptual admite-se que se for possível determinar das condições de agitação e as suas variações (com precisão suficiente para se verificar variações bruscas) é possível prever o run-up associado. Sabendo onde o espraço vai atuar é possível prever a localização da possível escarpa, que ocorrerá se a agitação favorável à geração de escarpa (muito energética) atuar durante o tempo necessário. Por último, para ocorrer a formação de escarpa é necessário saber se o observado perfil

foi efetivamente formado pelas condições propícias para formação de escarpa. Se a praia não tiver sedimento suficiente na zona da alta praia, é natural que todo o sedimento seja erodido e não ocorra formação de escarpa.

Assim, salienta-se a extrema importância da monitorização da praia, com levantamentos com uma periodicidade curta (semanal) e também quando se detetam (ou se preveem) grandes variações na agitação marítima.

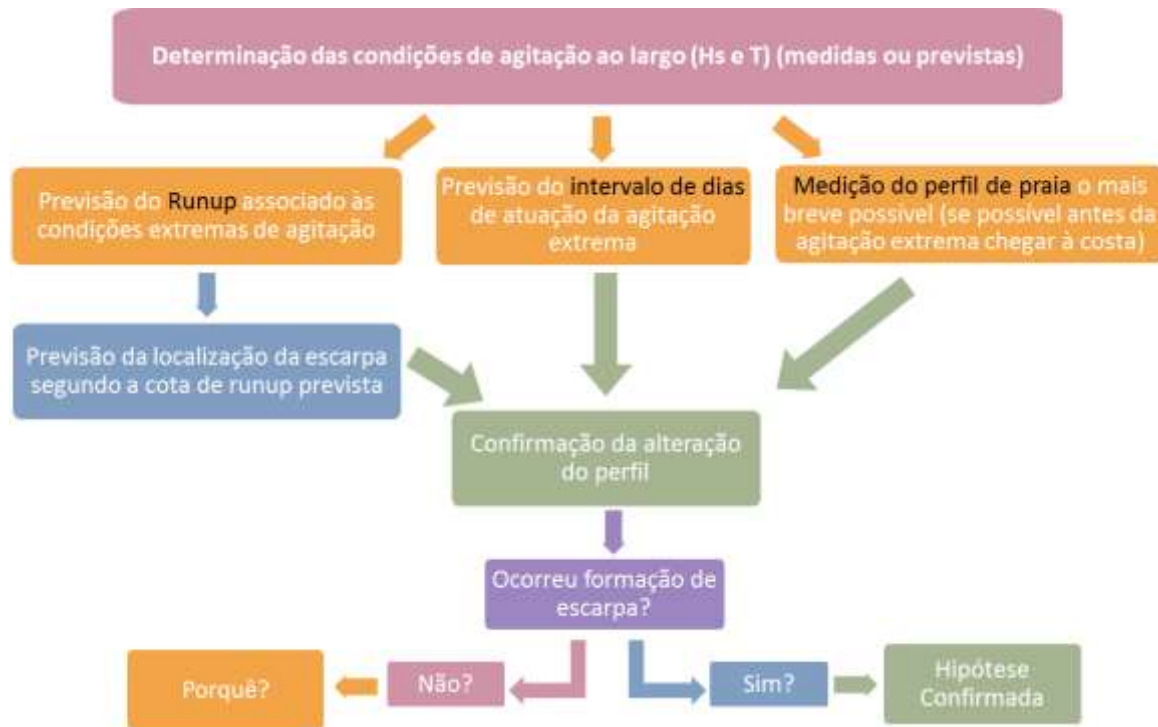


Figura 54: Modelo conceptual de previsão de formação de escarpas de praia.

Apesar desta tese ter humildemente contribuído para uma melhor compreensão da formação e evolução de escarpas de praia, ainda não se compreendeu, na sua totalidade, o processo em si. Por isso seria importante haver mais estudos sobre este tema. Tornar o modelo conceptual aqui apresentado num modelo quantitativo, onde se obtivesse valores aproximados que indiquem, com a maior precisão possível, a formação de escarpas de praia, seria um grande avanço para a compreensão deste processo. Saber-se quando as escarpas de praia se podem formar é uma questão de extrema relevância nas questões de ornamento territorial, podendo contribuir no caminho do equilíbrio entre as necessidades antropogénicas e a natureza.

## **7 Apêndices**

### **7.1. Forçamento**

Para poder compreender as variações morfológicas que ocorrem numa praia é indispensável compreender a ação dos agentes forçadores. Compreende-se como agentes forçadores, todos os fenómenos causadores de alterações morfológicas, neste caso, no litoral. De seguida descrevem-se os principais agentes forçadores que de forma direta ou indireta contribuem para a formação de escarpas de praia: a maré, a sobrelevação meteorológica, as correntes litorais e a agitação marítima (Dias, 1993).

#### **7.1.1 Maré**

A maré astronómica corresponde à subida e descida periódica do nível do mar devido à influência do campo gravítico da Lua e do Sol sobre da Terra. É caracterizada por uma onda com grande comprimento de onda, razão porque, por vezes, se utiliza a designação de onda de maré (APRH, 2007).

Segundo a terceira Lei de Newton, os astros exercem sobre a terra uma atração proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa, sendo essa atração sentida principalmente nas superfícies hídricas devido à menor viscosidade da água em relação às rochas constituintes dos continentes (APRH, 2007). Como já referido, os dois astros que influenciam a maré provocando deformações gravíticas na superfície da Terra são:

- 1) A Lua que é o elemento astronómico com proporções, não negligenciáveis, mais próximo da Terra (sendo por isso, o que contribui mais para este fenómeno),
- 2) O Sol, que apesar de se encontrar relativamente longe da Terra, que tem uma massa muito grande (mais de 300 mil vezes a massa da Terra) (Figura 55)(Stewart, 2007).

Devido à proximidade da lua, a maré formada pela influência da mesma é chamada de maré direta. Esta maré é compensada por questões de equilíbrio por uma deformação análoga no sentido do Sol (Dias, APRH, 2007).

Devido à translação da lua, as marés lunares diretas e reflexas podem coincidir com as marés diretas e reflexas solares, quando a Lua está entre a Terra e o Sol (Lua nova – Sol e Lua em conjugação), ou quando a Terra se encontra entre a Lua e o Sol (Lua cheia – Sol e Lua em oposição), dando origem às marés vivas que têm uma amplitude maior do que as marés normais. Quando a Lua se encontra em quarto crescente ou quarto minguante (Sol e Lua em quadratura), provoca uma melhor distribuição da deformação da superfície do oceano, causando as marés mortas (Dias, APRH, 2007).

Devido aos movimentos astronómicos, a influência da maré não se faz sentir de igual forma em todas as latitudes, ocorrendo em algumas regiões duas preia-mares e duas baixa-mares por dia, sendo esse fenómeno designado por marés semi-diurnas e, enquanto noutras regiões, apenas ocorre uma preia-mar e uma baixa-mar por dia, marés diurnas (Dias, APRH, 2007). Dependendo também da latitude, as amplitudes do período de maré são distintas e classificam-se as marés, relativamente à amplitude em episódios de águas vivas, em: 1) microtidal, onde a diferença altimétrica entre marés é inferior a dois metros, 2) mesotidal, onde a diferença altimétrica entre marés varia entre dois a quatro metros e 3) macrotidal quando a diferença altimétrica entre marés é superior a quatro metros (Short, 1999). Consoante a diferença altimétrica entre marés a que a praia está sujeita, esta pode designar-se por praia microtidal, mesotidas ou macrotidal.

Devido à variação da zona de interação ondas/praias devido à maré, ocorre a migração das zonas delimitadas pela interação das ondas com o fundo, nomeadamente a zona de empolamento, rebentação e de espraio. Assim, com a maré cheia, estas zonas avançam em direção da terra começando a atuar em locais onde não é

usual ocorrer a interação entre as ondas e a praia, podendo ocorrer a desestabilização do perfil de praia (Short, 1999).

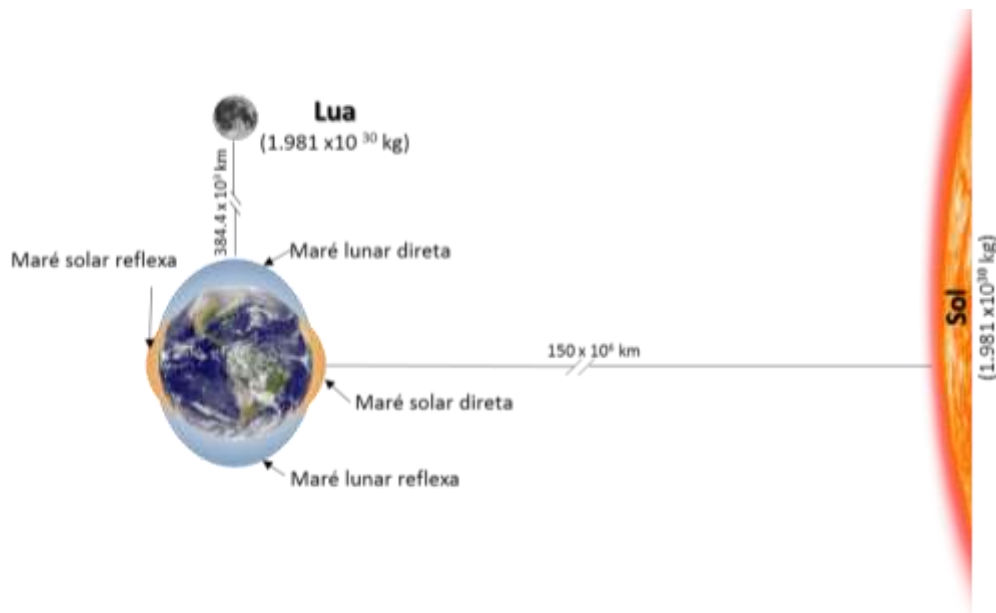


Figura 55: Representação esquemática, da ação do Sol e da Lua na formação das marés, bem como as distancias e os pesos dos respectivos astros. Adaptado de Dias, APRH, 2007.

### 7.1.2 Sobrelevação Meteorológica

A sobrelevação meteorológica ou *storm surge* é geralmente definida através da diferença entre o nível de maré observado e a altura da maré astronômica. Este fenómeno resulta da existência de condições meteorológicas anómalas, nomeadamente de variações no campo da pressão atmosférica e/ou da ação de ventos fortes e prolongados (Taborda e Dias, 1992).

Os efeitos da sobrelevação meteorológica, na zona costeira, dependem da fase da maré em que este fenómeno acontece. Se os valores máximos de sobrelevação ocorrerem em baixa-mar as consequências são menos graves do que se houver coincidência com a preia-mar. O pior cenário sucede quando existe coincidência entre uma grande sobrelevação, maré cheia equinocial e um grande temporal (Dias, APRH, 2007).

### 7.1.3 Ondas

As ondas que têm o papel mais importante na modelação da orla costeira são as ondas de vento (*e.g.* ondas geradas pela ação do vento), mas existem outros tipos de onda como, as ondas de maré e *tsunamis* (Stewart, 2008).

As ondas são caracterizadas pela sua altura, comprimento, período e direção. Dependendo a distância à área de geração, as ondas podem ser designadas por vaga ou por ondulação (Stewart, 2008). A vaga corresponde a ondas que se encontram na sua área de geração, tendo as cristas e as cavas uma forma irregular. A ondulação, corresponde a ondas que se propagaram para fora da área de geração, sendo que as cristas e cavas adquirem uma forma aproximadamente sinusoidal. Excetuando o período, as outras características da onda tendem a modificar-se com a aproximação à costa (Stewart, 2008) em resultado da interação com o fundo. As definições de alguns elementos característicos das ondas de vento encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15: Definição de elementos constituintes de uma onda de vento. (Stewart, 2008). Nota: A altura significativa, o período médio e o período de pico são definidos para ondas policromáticas.

GLOSSÁRIO: ELEMENTOS PRESENTES NUMA PRAIA	
Cava	Ponto de menor altura da onda.
Crista	Ponto de maior altura da onda.
Comprimento de onda (L)	Distância entre duas cristas ou duas cavas (m)
Altura de onda (H)	Distância entre a crista e a cava (m)
Altura significativa de onda (H <sub>s</sub> )	Altura associada à média do terço das ondas mais altas (m).
Amplitude de onda (A)	Metade da altura de onda (m)
Período (T)	Período de tempo que decorre entre a passagem de duas cristas (ou cavas) consecutivas (s).
Período médio (T <sub>m</sub> )	Período médio de todas as ondas do registro (s).
Período de pico (T <sub>p</sub> )	Período que apresenta maior energia (num espectro) (s)
Velocidade/Celeridade de fase (c)	Velocidade de fase de propagação das ondas (m/s), dada pela expressão: $c = \frac{L}{T}$

Para se compreender o comportamento da ondulação junto da costa e a sua interação com o fundo (Figura 56), é necessário conhecer as suas características ao largo. Em águas profundas (quando a onda não interage com o fundo), a trajetória das partículas de água influenciadas pela onda é circular. Diz-se que as ondas se encontram em águas profundas quando a profundidade é superior a metade do comprimento de onda (Stewart, 2008). Quando as trajetórias das partículas de água deixam de ser circulares e passam a ser elípticas sendo deformadas devido à proximidade com o fundo, então diz-se que a onda se encontra em águas intermédias. Por fim, diz-se que a onda se encontra em águas rasas quando a profundidade é inferior a  $\frac{1}{20}$  do seu comprimento de onda. Para terra da zona de águas rasas encontra-se a zona de rebentação, e após a mesma, a zona de espraio (Komar, 1998).

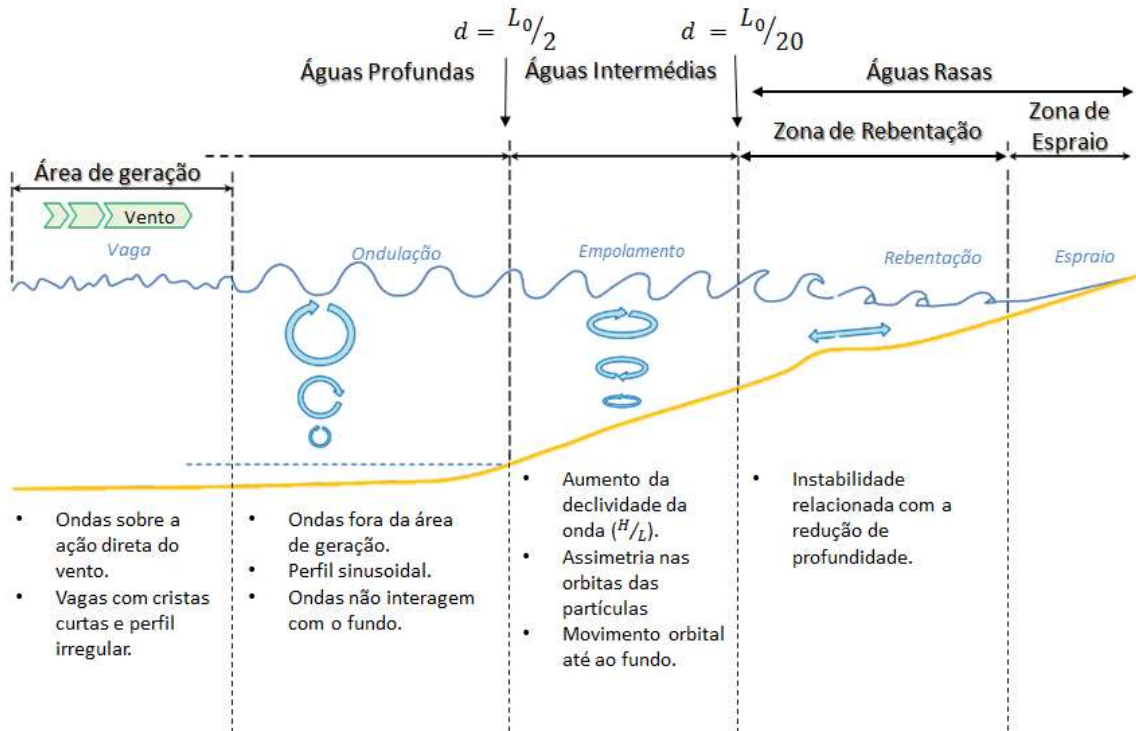


Figura 56: : Esquema do litoral: representação das zonas em que se divide em função da interação das ondas com o fundo.  $H_0$ : Altura de onda em águas profundas;  $L_0$ : Comprimento de onda em águas profundas;  $d$ : Profundidade;  $L$ : Comprimento de onda. Adaptado de Bonte (2013).

Considerando que estas ondas se propagam segundo a teoria linear (ou teoria de Airy), para cada um dos domínios, é possível calcular diversas propriedades das ondas, nomeadamente o comprimento de onda através da Equação 9 (Komar, 1998).

Equação 9

Parâmetros

$L = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$	<p><math>L</math> Comprimento de onda</p> <p><math>g</math> Aceleração da gravidade</p> <p><math>T</math> Período de onda</p> <p><math>h</math> Profundidade</p>
--	--

Esta equação é implícita pelo que o comprimento de onda só pode ser estimado através de métodos iterativos. Para facilitar o cálculo deste parâmetro ( $L$ ), foram publicadas algumas simplificações para o domínio de águas profundas e de águas rasas utilizando as características matemáticas da equação (nomeadamente o comportamento da tangente hiperbólica). Para o caso do domínio das águas intermedias existem outras equações que podem ser utilizadas, que tem associado um erro de cálculo (Komar, 1998).

#### 7.1.4 Águas Profundas

O valor da tangente hiperbólica quando o argumento tende para  $\infty^+$  tende para 1 (um). Assim, é possível calcular o comprimento de onda no domínio de águas profundas ( $L_0$  ou  $L_\infty$ ) através da Equação 10.

Equação 10

Parâmetros

$L_0 = \left( \frac{g}{2\pi} \right) T^2$	$L_0$ Comprimento de onda em águas profundas $g$ Aceleração da gravidade $T$ Período de onda
---	--

#### 7.1.5 Águas Rasas

Em águas rasas, também pode ser utilizado o comportamento assintótico da função da tangente hiperbólica quando o argumento tende para 0 (Equação 9). Neste caso, a fórmula pode ser simplificada para a Equação 11, com erros até 5% (Komar, 1998).

Equação 11

Parâmetros

$L_s = T \sqrt{gh}$	$L_s$ Comprimento de onda em águas profundas $g$ Aceleração da gravidade $h$ Profundidade $T$ Período de onda
---------------------	--

##### 7.1.5.1 Zona de Rebentação

À medida que as ondas se aproximam da costa a profundidade diminui e consequentemente há uma redução da sua velocidade. Para que haja conservação de energia, as ondas tendem a aumentar a sua altura (e.g.. sofrem empolamento) com o consequente aumento da declividade potenciado pelo comprimento de onda. Quando a onda se torna instável devido à sua elevada declividade, rebenta. Podem ser observados três tipos de rebentação que se associam à variação do número de Irraben ( $\xi$ ) que se baseia na relação do declive da face de praia com a declividade da onda Equação 12 (Battjes, 1974).

Equação 12

Parâmetros

$\xi = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_0/L_0}}$	$\xi$ Número de Irraben $\tan\beta$ Declive da face de praia $H_0$ Altura de onda em águas profundas $L_0$ Comprimento de onda em águas profundas
--	--

- Para valores de  $\xi < 0.4$  a rebentação é progressiva. Nestes casos a declividade da onda é grande e/ou a inclinação da face de praia é suave (inferior a 3°), o que resulta na formação de “novelos” de espuma que deslizam na frente da onda (Figura 57a) (APRH, 2007).



- Quando  $0.4 < \xi < 1$  a rebentação é mergulhante. Esta ocorre em declives de praia intermédios e/ou declividades de onda não muito elevadas em relação ao declive de face de praia. Nestes casos, a crista enrola-se e colapsa sobre a cava (Figura 57b) (APRH, 2007).
- Quando  $\xi > 1$  descreve-se a rebentação como oscilante ou de fundo, pois a crista da onda nunca chega verdadeiramente a rebentar ocorrendo, em vez disso, uma grande oscilação do nível de água. Este tipo de rebentação implica declives de praia muito elevados (inclinações superiores a  $15^\circ$ ) e/ou declividade de onda muito pequena. Nestas condições, a grande parte da energia da onda é refletida, podendo dar origem a ondas estacionárias junto ao litoral (Figura 57c) (APRH, 2007).



Figura 57: Representação dos tipos de rebentação. Adaptado de Jaud (2011).

#### 7.1.5.2 Zona de Espraio

Após a zona de rebentação a onda entra na zona de espraio. Nesta zona dá-se o espraio das ondas que corresponde à dissipação da restante energia (energia que não foi dissipada na rebentação), sob a forma de uma oscilação periódica de uma lâmina de água sobre a face de praia. O momento em que a lâmina de água avança para terra denomina-se espraio, e o momento em que esta recua de novo para o mar denomina-se ressaca. A alternância entre estes dois eventos depende, essencialmente, do período das ondas incidentes. A existência de ondas infragravíticas (ondas com períodos superiores a 30 s que por norma são o resultado de interações harmónicas não lineares de grupos de ondas de superfície (APRH, 2007)) podem promover um aumento da extensão do espraio.

A cota de máximo espraio pode define-se como a cota máxima alcançada pela superfície livre do mar no domínio em estudo (Silva *et al.*, 2013) e pode ser calculada através da soma de vários componentes como a maré astronómica, a sobrelevação meteorológica, o empilhamento de água junto à costa (*set-up*) e o espraio. (Equação 13).

Equação 13

Parâmetros

$C_{\text{máx espraio}} = (MA + SM) + (S + E)$	<p><i>MA</i> Maré Astronómica</p> <p><i>SM</i> Sobrelevação Meteorológica</p> <p><i>S</i> Empilhamento de água junto à costa</p> <p><i>E</i> Espraio de Ondas</p>
--	---



A soma entre o empilhamento de água junto à costa e o espraio das ondas é chamado de *run-up* que pode ser calculado de várias formas, como por exemplo, a Equação 14 (Wassing (1957)).

Equação 14

Parâmetros

$R = 8 \tan \beta H_0$	<p><math>R</math> Run-up</p> <p><math>\tan \beta</math> Declive da praia</p> <p><math>H_0</math> Altura de onda em águas profundas</p>
------------------------	--

#### 7.1.6 Correntes litorais

As correntes litorais são geradas quando existe uma grande interação das ondas com o fundo. Depois da onda rebentar, a onda continua o seu trajeto em direção a terra na forma de espraio. Após o espraio não ter mais energia para avançar, dá-se a ressaca (Stewart, 2007). O transporte da água e de sedimentos de volta para o mar é realizado pela corrente longitudinal e transversal. As correntes longitudinal e transversal presentes na praia derivam da obliquidade do rumo de propagação das ondas em relação à costa. O rumo de propagação das ondas é o mesmo da propagação da energia, a qual pode ser decomposta numa componente longitudinal e noutra transversal à costa. As correntes de retorno são correntes que se formam junto à costa para contrariar o empilhamento de água que aí ocorre pelo facto de, efetivamente nesta zona, haver um ligeiro transporte em direção a terra da massa de água à passagem das ondas (Figura 58) (Stewart, 2007).

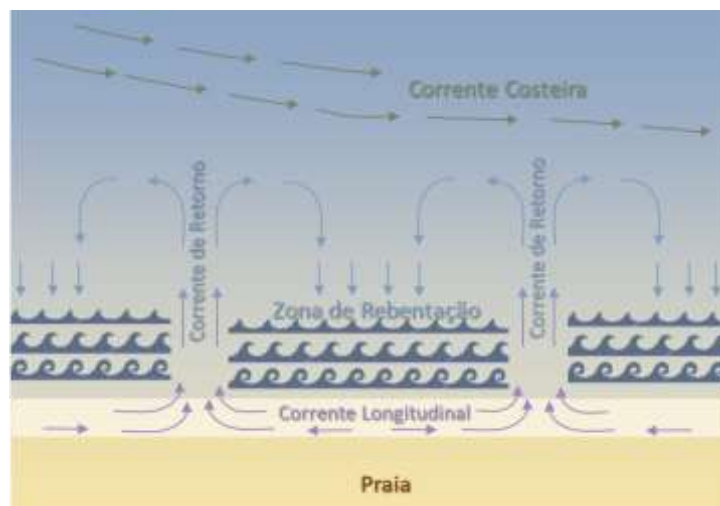


Figura 58: Esquema representativo das várias correntes atuantes no litoral. Adaptado de Stewart, 2007.

Se as ondas não forem totalmente paralelas à praia, em vez das células fechadas que se observam na Figura 58, ocorre o transporte de sedimentos de célula para célula ao longo da praia, sendo que o volume de sedimentos envolvidos neste transporte se denomina-se deriva litoral (Figura 59) (Komar, 1998).



Figura 59: Esquema Representativo da Deriva litoral.

Para o cálculo da deriva litoral utiliza-se a razão de transporte sedimentar litoral ( $Q_l$ ) em que é usualmente utilizada a Equação 15, sendo esta referente à deriva litoral que potencialmente pode existir naquele local caso haja sedimentos para o efeito (CEM C2 III, 2002).

Equação 15

Parâmetros

$Q_l = K \times A \times Hs_b^{5/2} \times \sin(2\alpha_b)$	<p><math>Q_l</math> Deriva litoral</p> <p><math>K</math> Coeficiente de proporcionalidade empírico</p> <p><math>A</math> Coeficiente empírico</p>
---	---

## **8 Bibliografia**

- Allaby, A., & Allaby, M. (n.d.). supratidal | Dictionary definition of supratidal | Encyclopedia.com: FREE online dictionary. Retrieved from <http://www.encyclopedia.com/doc/1O13-supratidal.html>
- Andrade, C., Marques, F., & Freitas, C. (2013). Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo - Relatório Final. Retrieved from APA - Projeto CISML website: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Politicass/Agua/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/Relatorio%20final\\_CISML.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Politicass/Agua/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/Relatorio%20final_CISML.pdf)
- Andrade, F., & Ferreira, M. A. (2006). A Simple Method of Measuring Beach Profiles. *Journal of Coastal Research*, 224, 995-999. doi:10.2112/04-0387.1
- Barroco, A. (2009, June 3). Apresentação da ENGIZC – Ana Barroco, Quatenaire, Portugal. Estratégia nacional para a gestão integrada da zona costeira – ENGIZC, sessão pública de esclarecimento, o modelo de governança [PDF]. Retrieved from [http://www.aprh.pt/images/stories/pdf/030609\\_abarroco.pdf](http://www.aprh.pt/images/stories/pdf/030609_abarroco.pdf)
- Battjes, J. (1974). Surf Similarity. *Coastal Engineering* 1974. doi:10.1061/9780872621138.029
- Bonte, Y. (2013). Effet du swash sur l'érosion d'un escarpement de haut de plage (Doctoral dissertation, Université de Caen, Caen, France). Retrieved from <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel00903357>
- Bonte, Y., & Levoy, F. (2012). Morphodynamic of beach scarps on a macrotidal coast during exceptional water level events (normandy, france). *Int. Conf. Coastal. Eng*, 1(33). doi:10.9753/icce.v33.posters.11
- Carapuço, M. M., Taborda, R., Silveira, T. M., Psuty, N. P., Andrade, C., & Freitas, M. C. (2016). Coastal geoindicators: Towards the establishment of a common framework for sandy coastal environments. *Earth-Science Reviews*, 154, 183-190. doi:10.1016/j.earscirev.2016.01.002
- CISML. (2013). Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, realizado pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Retrieved from <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=10&sub3ref=1192>
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dias, A. (1993). Causas da erosão costeira. In *Estudo de avaliação da situação ambiental e proposta de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa (Geologia costeira)* (1st ed., pp. 13-38). Retrieved from [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_Ambicost.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Ambicost.html)
- Dias, A. (2007). Glossário de Gestão Costeira Integrada. Retrieved from <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/>
- Ferraz, M. (2010). Evolução da parte norte da península de Tróia. VIII CNG 2010. Retrieved from <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/view/134>
- Gala, T. (2015). Modelação analítica da erosão de praias por tempestade (Master's thesis). Retrieved from [http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18005/1/ulfc113595\\_tm\\_Teresa\\_Gala.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18005/1/ulfc113595_tm_Teresa_Gala.pdf)
- Instituto Hidrográfico. (2014). Sabia que...Zero hidrográfico | Instituto Hidrográfico. Retrieved from <http://www.hidrografico.pt/noticia-sabia-que-zero-hidrografico.php>
- Jaud, M. (2011). Techniques d'observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale. *Sciences de la Terre*. Université de Bretagne occidentale (Doctoral dissertation,

- Universit e de Bretagne occidentale, Brest, France). Retrieved from [https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/650953/filename/These\\_MarionJaud.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/650953/filename/These_MarionJaud.pdf)
- Journal of Integrated Coastal Zone Management. (n.d.). Gloss rio APRH. Retrieved from <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/index.html>
- Kamphuis, J. W. (1991). Littoral Transport Rate. Coastal Engineering 1990. doi:10.1061/9780872627765.184
- Katoh, K., & Yanagishima, S. (1993). Berm Formation and Berm Erosion. Coastal Engineering 1992. doi:10.1061/9780872629332.163
- Komar, P. D. (1998). Beach processes and sedimentation (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Komar, P. D., & Gaughan, M. K. (2011). Airy wave theory and breaker height prediction. Coastal Engineering Research Council.
- Kubota, S., Okubo, S., Kato, S., Matumura, T., & Takezawa, M. (1997). Field observation for sand compaction and topography change on an artificial beach face. PROCEEDINGS OF CIVIL ENGINEERING IN THE OCEAN, 13, 883-888. doi:10.2208/prooe.13.883
- Larson, M., Erikson, L., & Hanson, H. (2004). An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. Coastal Engineering, 51(8-9), 675-696. doi:10.1016/j.coastaleng.2004.07.003
- MoHid. (2000). Limite de jusante do estuário do Tejo | Maretec Mohid. Retrieved from <http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/ExemploTejo/ExemploTejo.htm>
- Morelock, J., Ramirez, W., Hallock, P., & Hubbard, D. (2005). Beach System. Retrieved from <http://geology.uprm.edu/Morelock/beachsys.htm>
- Nishi, R., & Kraus, N. C. (1997). Mechanism and Calculation of Sand Dune Erosion by Storms. Coastal Engineering 1996. doi:10.1061/9780784402429.235
- Nordstrom, K. F. (2008). Beach and dune restoration. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Overton, M. F., & Fisher, J. S. (1989). Simulation Modeling of Dune Erosion. Coastal Engineering 1988. doi:10.1061/9780872626874.138
- Palmsten, M. L., & Holman, R. A. (2012). Laboratory investigation of dune erosion using stereo video. Coastal Engineering, 60, 123-135. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.09.003
- Payo, A., Kobayashi, N., & Schmied, L. (2008). Cross-shore suspended sand and bed load transport on beaches. J. Geophys. Res, 113(C7). Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JC004203/full>
- Peck, R., Handson, W., & Thornburn, T. (1974). Foundation Engineering Handbook (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Relatório Ambiental, Avaliação Ambiental Estrat gica, Plano de Pormenor da Margem Direita da Foz do Rio Jamor. (2010). Retrieved from eGiamb website: [http://www.cm-oeiras.pt/municipio/BolMunOnl/avisos1/avaliacao\\_ambiental\\_estrategica/01\\_RELATORIO%20AMBIENTAL\\_AVALIACAO%20AMBIENTAL%20ESTRATEGICA\\_PPMDFRJ.pdf](http://www.cm-oeiras.pt/municipio/BolMunOnl/avisos1/avaliacao_ambiental_estrategica/01_RELATORIO%20AMBIENTAL_AVALIACAO%20AMBIENTAL%20ESTRATEGICA_PPMDFRJ.pdf)

- Rocha, J. (2015). Evolução do sistema praia-duna sob a ação de ondas erosivas: análise de dados e desempenho de modelos de previsão (Master's thesis, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal). Retrieved from <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec/dissertacao/565303595500130>
- Santos, J. A., Capitão, R., Coli, A. B., Fortes, C. J., & Freire, P. (2006). Previsão da agitação marítima no estuário do Tejo utilizando o modelo swan. associação portuguesa dos recursos, Hidricod.
- Santos, J., Capitão, R., Coli, A., E. Fortes, C., & Freire, P. (2012). Previsão da agitação marítima no estuário do Tejo utilizando o modelo SWAN. Retrieved from 8º Congresso da Água website: [ftp://ftp.mohid.com/Fortaleza\\_CD/Bibliografia/Waves/SWAN\\_Tejo.pdf](ftp://ftp.mohid.com/Fortaleza_CD/Bibliografia/Waves/SWAN_Tejo.pdf)
- Seymour, R., Guza, R., O'Reilly, W., & Elgar, S. (2005). Rapid erosion of a small southern California beach fill. *Coastal Engineering*, 52(2), 151-158. doi:10.1016/j.coastaleng.2004.10.003
- Sherman, D., & Nordstrom, K. (1985). Beach Scarps. *Für Geomorphologie*, 29(2), 139-152.
- Short, A. D. (1999). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. New York: John Wiley.
- Silva, A. M., Taborda, R., Lira, C., Andrade, C. F., Silveira, T., & Freitas, M. C. (n.d.). Determinação e cartografia da perigosidade associada à erosão de praias e ao galgamento oceânico. Relatório técnico, projeto CISML (1.3.2.a). Retrieved from APA website: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Água/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/E\\_1.3.2.a\\_Galgamento\\_oceanico.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/E_1.3.2.a_Galgamento_oceanico.pdf)
- Silveira, T., Andrade, C., Taborda, R., Silva, A., & Carapuço, M. (2013). Caracterização do clima de agitação junto à costa (1.1.7.b). Retrieved from APA, Projeto CISML website: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Água/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/E\\_1.1.7.b\\_Clima%20agitao\\_costa.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/E_1.1.7.b_Clima%20agitao_costa.pdf)
- Silveira, T., Diogo, Z., Taborda, R., Andrade, C., Sousa, H., Carapuço, A., & Silva, A. (2013). Retrieved from APA, Projeto CISML website: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Água/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/E\\_1.2.3.e\\_Morfodinamica%20sazonal.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/Ordenamento/SistemaMonitorizacaoLitoral/E_1.2.3.e_Morfodinamica%20sazonal.pdf)
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography*. Tallahassee, Fla.?: Orange Grove.
- Sunamura, T. (1984). Prediction of on/offshore sediment transport rate in the surf zone including swash zone. *Conf. Coastal Eng*, 60(1-4), 316-320.
- Sunamura, T. (1992). *Geomorphology of rocky coasts*. Chichester: J. Wiley.
- Turner, I. L., Harley, M. D., Short, A. D., Simmons, J. A., Bracs, M. A., Phillips, M. S., & Splinter, K. D. (2016). A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia. *Scientific Data*, 3, 160024. doi:10.1038/sdata.2016.24
- Wassing, F. (1957). Model investigation on wave run-up carried out in the netherlands during the past twenty years. *Coastal Engineering Proceedings*, 6, 700-714. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.9753/icce.v6.42>
- United States. (2002). Part IV. In *Coastal engineering manual*. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers.
- Wassing, F. (1957). Model investigation on wave run-up carried out in the netherlands during the past twenty years. *Coastal Engineering Proceedings*, 6, 700-714. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.9753/icce.v6.42>

Wright, L., & Short, A. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56(1-4), 93-118. doi:10.1016/0025-3227(84)90008-2



## 9 Anexos

Todos estes dados estão disponibilizados em:

<https://www.dropbox.com/sh/2uru26lkvx79kgk/AADjhLy72nD2Raw46Vfe47dUa?dl=0>

### 9.1 Campanha CQ 27/10/2015

#### 9.1.1 Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais

Relevo	Cota DGPS	Distância entre estacas	Estaca	Medição de estaca Inicial	Cota Inicial (11:03)	Medição de estaca 11:13	Cota 11:13 (m)	Medição de estaca 11:23	Cota 11:23 (m)	Medição de estaca 11:33	Cota 11:33 (m)	Medição de estaca final	Final (11:41) (m)
1	2.0422	0	1.1	0.62	1.42220	0.630	1.41220	0.625	1.41720	0.640	1.40220	0.65000	1.39220
1	2.0699	0.1651	1.2	0.61	1.45990	0.615	1.45490	0.630	1.43990	0.650	1.41990	0.67500	1.39490
1	2.1877	0.2543	1.3	0.67	1.51770	0.665	1.52270	0.690	1.49770	0.745	1.44270		
1	2.2378	0.5245	1.4	0.58	1.65780	0.580	1.65780	0.600	1.63780	0.620	1.61780	0.60000	1.63780
1	2.2538	0.8061	1.5	0.465	1.78880	0.465	1.78880	0.475	1.77880	0.505	1.74880	0.56000	1.69380
1	2.2668	0.9254	1.6	0.38	1.88680	0.380	1.88680	0.495	1.77180	0.405	1.86180	0.44000	1.82680
2	2.0793	0	2.1	0.66	1.41930	0.660	1.41930	0.670	1.40930	0.680	1.39930	0.68500	1.39430
2	2.0752	0.1309	2.2	0.595	1.48020	0.595	1.48020	0.605	1.47020	0.645	1.43020	0.66500	1.41020
2	2.1172	0.4247	2.3	0.555	1.56220	0.555	1.56220	0.565	1.55220	0.695	1.42220	0.68500	1.43220
2	2.121	0.6029	2.4	0.46	1.66100	0.455	1.66600	0.460	1.66100	0.480	1.64100	0.62500	1.49600
2	2.2351	0.7885	2.5	0.49	1.74510	0.490	1.74510	0.490	1.74510	0.495	1.74010	0.53000	1.70510
2	2.1185	0.9981	2.6	0.3	1.81850	0.300	1.81850	0.300	1.81850	0.300	1.81850	0.31500	1.80350
2	2.2552	1.1822	2.7	0.345	1.91020	0.345	1.91020	0.360	1.89520	0.360	1.89520	0.37000	1.88520
3	2.09	0	3.1	0.59	1.50000	0.690	1.40000	0.695	1.39500	0.680	1.41000	0.68500	1.40500
3	2.0759	0.189	3.2	0.645	1.43090	0.640	1.43590	0.655	1.42090	0.650	1.42590	0.65000	1.42590
3	2.0753	0.4451	3.3	0.6	1.47530	0.605	1.47030	0.610	1.46530	0.635	1.44030	0.66000	1.41530
3	2.1066	0.6273	3.4	0.57	1.53660	0.570	1.53660	0.570	1.53660	0.590	1.51660	0.66000	1.44660
3	2.1015	0.8085	3.5	0.51	1.59150	0.505	1.59650	0.505	1.59650	0.515	1.58650	0.63500	1.46650
3	2.0929	1.0075	3.6	0.41	1.68290	0.410	1.68290	0.410	1.68290	0.415	1.67790	0.47500	1.61790
3	2.0819	1.2027	3.7	0.355	1.72690	0.355	1.72690	0.353	1.72890	0.355	1.72690	0.36000	1.72190
3	2.1222	1.3626	3.8	0.32	1.80220	0.320	1.80220	0.325	1.79720	0.330	1.79220	0.33000	1.79220

#### 9.1.2 Dados de agitação marítima (IH)

Dados da boia da Nazaré (Monican costeira), 27/10/2015, 11:00	
Altura significativa	5.74 m
Altura máxima	7.5 m
Período médio	11.7 s
Período máximo observado	---
Direção da ondulação	WNW
Temperatura da água	17.9 °C



### 9.1.3 Velocidade de espraio

#Espraio	$\Delta t$ (s)	Velocidade (ms <sup>-1</sup> )
4	2.35	0.89
2	1.97	1.07
9	1.95	1.08
3	1.9	1.11
10	1.9	1.11
12	1.9	1.11
11	1.87	1.12
21	1.54	1.36
1	1.45	1.45
25	1.43	1.47
16	1.4	1.50
28	1.34	1.57
13	1.29	1.63
5	1.26	1.67
27	1.25	1.68
24	1.13	1.86
23	1.06	1.98
29	1.04	2.02
7	1.02	2.06
14	1.02	2.06
30	0.9	2.33
8	0.86	2.44
19	0.86	2.44
18	0.76	2.76
31	0.75	2.80
32	0.7	3.00
26	0.69	3.05
17	0.67	3.14
15	0.65	3.23
22	0.65	3.23
6	0.5	4.20
20	0.48	4.38

Distância (m)	2.1013
Velocidade Média	2.09
Mais rápido	0.89
Mais lento	4.377708

## 9.2 Campanha CQ 23/11/2015

### 9.2.1 Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais

Relevo	Cota DGPS	Distância entre estacas	Estaca	Medição de estaca Inicial	Cota Inicial (10:42) (m)	Medição de estaca 11:02	Cota 11:02 (m)	Medição de estaca 11:12	Cota 11:12 (m)	Medição de estaca 11:22	Cota 11:22 (m)	Medição de estaca 11:32	Cota 11:32 (m)	Medição final	Cota final (m)
1	2.1576	0	1.1	0.755	1.403	0.730	1.428	0.715	1.443	0.710	1.448	0.610	1.548	0.765	1.368
1	2.1683	0.1845	1.2	0.74	1.428	0.725	1.443	0.715	1.453	0.700	1.468	0.700	1.468	0.770	1.382
1	2.1724	0.3463	1.3	0.695	1.477	0.690	1.482	0.690	1.482	0.695	1.477	0.710	1.462	0.770	1.327
1	2.2666	0.7523	1.5	0.61	1.657	0.605	1.662	0.610	1.657	0.615	1.652	0.770	1.497		
1	2.2692	0.9431	1.6	0.52	1.749	0.520	1.749	0.520	1.749	0.520	1.749	0.560	1.709	0.790	1.410
1	2.3294	1.1207	1.7	0.5	1.829	0.5	1.829	0.5	1.829	0.505	1.824	0.510	1.819		
1	2.1756	1.3818	1.8	0.28	1.896	0.280	1.896	0.280	1.896	0.280	1.896	0.280	1.896	0.570	1.950
1	2.3274	1.5551	1.9	0.465	1.862	0.465	1.862	0.465	1.862	0.465	1.862	0.460	1.867	0.470	2.043
2	2.1334	0	2.1	0.77	1.363	0.750	1.383	0.745	1.388	0.720	1.413	0.725	1.408	0.775	1.358
2	2.1519	0.238	2.2	0.76	1.392	0.750	1.402	0.740	1.412	0.760	1.392	0.725	1.427	0.780	1.372
2	2.1279	0.5479	2.4	0.69	1.438	0.680	1.448	0.655	1.473	0.665	1.463	0.650	1.478	0.715	1.413
2	2.1388	1.0226	2.5	0.64	1.499	0.620	1.519	0.620	1.519	0.610	1.529	0.605	1.534	0.680	1.459
2	2.2003	1.2453	2.6	0.65	1.550	0.645	1.555	0.640	1.560	0.645	1.555	0.645	1.555	0.700	1.500
2	2.1573	1.4249	2.7	0.57	1.587	0.565	1.592	0.650		0.56	1.597	0.595	1.562	0.660	1.497
2	2.5195	1.5622	2.8	0.9	1.620	0.890	1.630	0.895	1.625	0.890	1.630				
2	2.5134	1.7428	2.9	0.86	1.653	0.860	1.653	0.860	1.653	0.855	1.658	0.880	1.633		
2	2.321	2.0861	2.10	0.58	1.741	0.590	1.731	0.590	1.731	0.600	1.721	0.605	1.716	0.800	1.521
2	2.249	2.3225	2.11	0.5	1.749	0.500	1.749	0.500	1.749	0.500	1.749	0.500	1.749	0.725	1.524

### 9.2.2 Velocidade de espraio e dados de agitação marítima (IH)

#Espraio	$\Delta t$ (s)	Velocidade (ms <sup>-1</sup> )
14	1.64	0.68
9	1.63	0.68
13	1.35	0.82
12	1.33	0.84
1	1.24	0.90
16	1.11	1.00
5	1	1.11
15	1	1.11
18	0.91	1.22
20	0.9	1.24
6	0.74	1.50
21	0.72	1.54
17	0.7	1.59
23	0.69	1.61
8	0.58	1.92
19	0.53	2.10
10	0.5	2.22
22	0.5	2.22
11	0.48	2.32
3	0.46	2.42
2	0.45	2.47
4	0.28	3.97
7	0.27	4.12

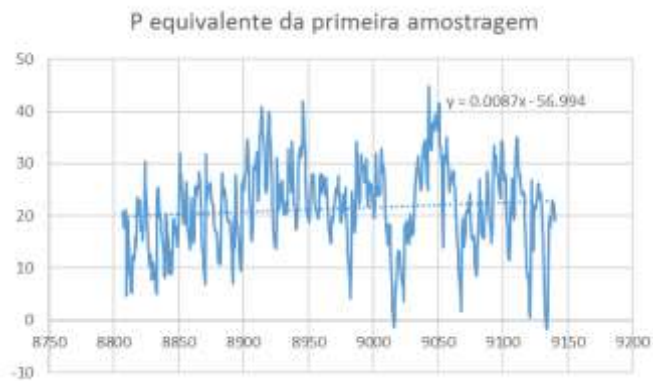
Distância (m)	1.112
Velocidade média	1.72
velocidade máxima	4.12
velocidade mínima	0.68

Dados da boia de Sines, 23/11/2015, 15:00	
Altura significativa	1.61 m
Altura máxima	2.19 m
Período médio	6.8 s
Período máximo observado	11.7 s
Direção da ondulação	NW
Temperatura da água	16.9 °C

### 9.2.3 Valores médios obtidos dos dados do transdutor

Primeira amostragem realizada de 11:26 às 11:32

Desvio P	8,05019
Hm	20,17883
Hrms	22,76938
Hs	32,20076
Hmod	16,10038



Segunda amostragem realizada de 11:38 às 11:40

Desvio P	9,6851
Hm	24,2770
Hrms	27,3937
Hs	38,7405
Hmod	19,3702



## 9.3 Campanha SPE 23/11/2015

### 9.3.1 Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais

Relevo	Estaca	Cota GPS	Distância entre estacas (cm)	Comp. dos perfis	Início		14:01		14:11		14:21		14:31		14:41	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
1	1	330.52	40	0	66.77	263.75	66.77	263.75	66.77	263.75	66.33	264.19	64.30	266.22	65.70	264.82
	2	305.25	40	40	50.74	254.51	50.74	254.51	47.68	257.57	46.85	258.40	45.18	260.07	44.26	260.99
	3	295.79	40	80	44.28	251.51	44.28	251.51	42.62	253.17	43.10	252.69	41.65	254.14	43.67	252.12
	4	289.94	40	120	51.62	238.32	51.62	238.32	52.01	237.93	48.86	241.08	47.56	242.38	46.24	243.70
	5	277.51	40	160	48.21	229.30	48.21	229.30	45.18	232.33	45.55	231.96	39.37	238.14	39.28	238.23
	6	271.17	40	200	47.77	223.40	47.77	223.40	46.64	224.53	45.20	225.97	39.57	231.60	40.41	230.76
2	1	341.03	30	0	46.85	294.18	46.85	294.18	46.85	294.18	49.78	291.25	49.09	291.94	48.72	292.31
	2	300.61	30	30	17.05	283.56	17.05	283.56	17.05	283.56	18.27	282.34	17.13	283.48	16.67	283.94
	3	297.13	30	60	25.50	271.63	25.50	271.63	25.50	271.63	23.56	273.57	23.82	273.31	22.40	274.73
	4	296.59	30	90	31.33	265.26	31.33	265.26	31.33	265.26	32.01	264.58	33.38	263.21	32.14	264.45
	5	277.69	30	120	25.71	251.98	25.71	251.98	24.89	252.80	24.17	253.52	20.51	257.18	21.28	256.41
	6	281.17	30	150	42.08	239.09	42.08	239.09	39.92	241.25	42.21	238.96	37.31	243.86	34.56	246.61
	7	275.78	30	180	47.16	228.62	47.16	228.62	45.34	230.44	40.31	235.47	37.15	238.63	34.52	241.26
	8	261.78	30	240	38.28	223.50	38.28	223.50	33.91	227.87	33.54	228.24	26.97	234.81	24.03	237.75
3	1	348.27	40	0	68.45	279.82	68.45	279.82	68.45	279.82	68.45	279.82	69.15	279.12	65.39	282.88
	2		40	40	12.69		12.69		12.69		12.45		12.21		11.47	
	3	293.41	40	80	32.67	260.74	32.67	260.74	32.67	260.74	32.97	260.44	32.47	260.94	33.02	260.39
	4	279.88	40	120	31.16	248.72	31.16	248.72	31.16	248.72	33.51	246.37	30.75	249.13	27.76	252.12
	5	257.84	40	160	22.08	235.76	22.08	235.76	22.50	235.34	20.66	237.18	14.47	243.37	13.99	243.85
	6	269.48	40	200	42.67	226.81	42.67	226.81	43.02	226.46	41.83	227.65	36.27	233.21	32.14	237.34

Relevo	Estaca	Cota GPS	Distância entre estacas (cm)	Comp. dos perfis	14:51		15:01		15:11		15:21		15:31		Final	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
1	1	330.52	40	0	71.29	259.23	71.02	259.50	70.85	259.67						
	2	305.25	40	40	47.21	258.04	47.30	257.95	45.22	260.03						
	3	295.79	40	80	43.36	252.43	43.88	251.91	41.13	254.66						
	4	289.94	40	120	42.96	246.98	43.43	246.51	47.38	242.56						
	5	277.51	40	160	38.69	238.82	37.84	239.67	39.65	237.86						
	6	271.17	40	200	38.40	232.77	39.38	231.79	42.20	228.97						
2	1	341.03	30	0	50.47	290.56	45.12	295.91	49.03	292.00	50.23	290.80	48.08	292.95	50.78	290.25
	2	300.61	30	30	15.90	284.71	16.97	283.64	15.83	284.78	16.52	284.09	14.69	285.92	14.49	286.12
	3	297.13	30	60	23.49	273.64	23.47	273.66	23.65	273.48	21.93	275.20	20.21	276.92	20.54	276.59
	4	296.59	30	90	29.48	267.11	31.12	265.47	30.30	266.29	29.79	266.80	27.30	269.29	28.80	267.79
	5	277.69	30	120	19.94	257.75	20.61	257.08	18.61	259.08	17.95	259.74	18.44	259.25	18.64	259.05
	6	281.17	30	150	32.73	248.44	31.30	249.87	33.19	247.98	33.97	247.20	29.59	251.58	33.05	248.12
	7	275.78	30	180	33.30	242.48	34.72	241.06	33.28	242.50	35.58	240.20	30.37	245.41	32.61	243.17
	8	261.78	30	240	21.85	239.93	21.76	240.02	22.27	239.51	25.62	236.16	13.92	247.86	23.07	238.71
3	1	348.27	40	0	68.00	280.27	66.44	281.83	67.57	280.70	69.46	278.81	71.23	277.04		
	2		40	40	11.01		10.74		10.38		10.53		15.11			
	3	293.41	40	80	30.63	262.78	30.82	262.59	30.64	262.77	30.06	263.35	37.30	256.11		
	4	279.88	40	120	27.84	252.04	27.14	252.74	29.38	250.50	29.40	250.48	30.68	249.20		
	5	257.84	40	160	12.16	245.68	11.39	246.45	13.99	243.85	15.32	242.52	15.23	242.61		
	6	269.48	40	200	35.46	234.02	33.46	236.02	34.10	235.38	35.53	233.95	34.44	235.04		

### 9.3.2 Análise espectral

t	Hs	Tz	Urms	h
13:54:59	0.55	5.94	0.55	0.57
14:04:59	0.49	6.67	0.44	0.71
14:14:58	0.47	6.52	0.39	0.83
14:24:58	0.61	8.22	0.47	0.93
14:34:57	0.62	8.22	0.45	1.06
14:44:57	0.60	8.96	0.42	1.16
14:54:56	0.63	10.17	0.42	1.25
15:04:56	0.61	9.09	0.40	1.35
15:14:55	0.63	9.68	0.40	1.42
15:24:55	0.68	10.17	0.42	1.48
15:34:54	0.61	10.53	0.37	1.55
15:44:54	0.59	9.68	0.35	1.57
15:54:53	0.60	10.00	0.36	1.60
16:04:53	0.63	9.84	0.37	1.64
16:14:52	0.52	9.52	0.30	1.64
16:24:52	0.61	11.32	0.36	1.62
16:34:51	0.59	10.71	0.35	1.61
16:44:51	0.63	10.17	0.38	1.58
16:54:50	0.53	10.34	0.32	1.53
17:04:50	0.53	8.96	0.32	1.48
17:14:49	0.42	9.09	0.26	1.41
17:24:49	0.45	9.38	0.29	1.34
17:34:48	0.43	8.11	0.29	1.26
17:44:48	0.45	9.38	0.31	1.17
17:54:47	0.45	8.96	0.33	1.07
18:04:47	0.44	8.00	0.34	0.95
18:14:46	0.40	7.79	0.33	0.83
18:24:46	0.29	7.23	0.26	0.71
18:34:45	0.42	6.67	0.41	0.58
18:44:45	0.43	8.00	0.49	0.44
18:54:44	0.50	7.50	0.69	0.30
Média	0.53	8.86	0.38	1.18



### 9.3.3 Velocidade de espraio e dados de agitação marítima (IH)

#Espraio	nº frames	segundos	velocidade
6	22	0.734	0.56
14	20	0.667	0.62
13	19	0.634	0.65
7	18	0.601	0.68
2	17	0.567	0.72
18	17	0.567	0.72
11	16	0.534	0.77
3	15	0.501	0.82
10	15	0.501	0.82
8	14	0.467	0.88
17	14	0.467	0.88
1	13	0.434	0.95
5	13	0.434	0.95
4	12	0.400	1.03
12	12	0.400	1.03
9	11	0.367	1.12
15	11	0.367	1.12
16	11	0.367	1.12
19	10	0.334	1.23

Distância (m)	0.411046
Velocidade média	0.88
Velocidade máxima	1.23
Velocidade mínima	0.56

#### Registo do dia 11/03/2016 de agitação ao largo

Utilizados os registos da Boia de Leixões com registos entre 2016-03-10 12:10 e 2016-03-11 15:40 e entre 2016-03-11 12:10 e 2016-03-12 17:40

Valores médios (13:00 a 16:00)			
Hs 0 (m)	H0 max (m)	Tz (s)	Tmax (s)
1.74	2.71	5.94	12.88

## 9.4 Campanha T 20/05/2016

### 9.4.1 Perfil de praia

X	Point Profile	X	Point Profile
1.50	4.02	32.95	2.10
3.18	4.16	34.26	2.13
4.46	4.25	35.51	2.14
6.36	3.89	36.72	2.12
8.42	3.58	37.90	2.07
9.42	3.42	39.00	2.07
10.53	3.41	40.15	2.05
11.72	3.25	41.92	1.93
13.00	3.15	43.10	1.88
14.26	3.11	44.41	1.77
15.52	3.06	45.81	1.57
16.76	2.96	47.23	1.43
18.04	2.83	48.60	1.27
19.37	2.66	49.89	1.11
20.80	2.55	51.11	0.98
22.27	2.49	52.31	0.97
23.62	2.45	53.36	0.86
24.98	2.41	54.43	0.74
26.35	2.37	55.59	0.66
27.69	2.33	56.74	0.56
28.97	2.25	58.00	0.41
30.29	2.17	59.13	0.33
31.63	2.10	60.58	0.09
32.95	2.10	61.83	-0.13
34.26	2.13	62.84	-0.09



### 9.4.2 Dados dos perfis topográficos dos relevos artificiais

Relevo	Estaca	Cota GPS (cm)	Distância entre estacas (cm)	Comp. dos perfis (cm)	Início		12:20		12:30		12:40		Final	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
1	1	197.32	0	0	69.70	127.62	74.60	122.72	74.00	123.32	76.20	121.12	76.90	120.42
	2	167.75	28.16	28.16	51.90	115.85	51.20	116.55	51.40	116.35	52.40	115.35	52.40	115.35
	3	172.36	25.35	53.51	62.00	110.36	68.00	104.36	61.10	111.26	62.70	109.66	63.80	108.56
	4	171.9	41.13	94.64	66.90	105.00	65.00	106.90	65.50	106.40	61.20	110.70	69.10	102.80
	5	164.99	26.03	120.67	63.10	101.89	63.00	101.99	63.10	101.89	64.20	100.79	64.20	100.79
	6	161.6	19.08	139.75	63.00	98.60	64.00	97.60	64.20	97.40	65.20	96.40	64.90	96.70
	7	152.76	31.94	171.69	61.90	90.86	64.00	88.76	63.10	89.66	60.00	92.76	60.40	92.36

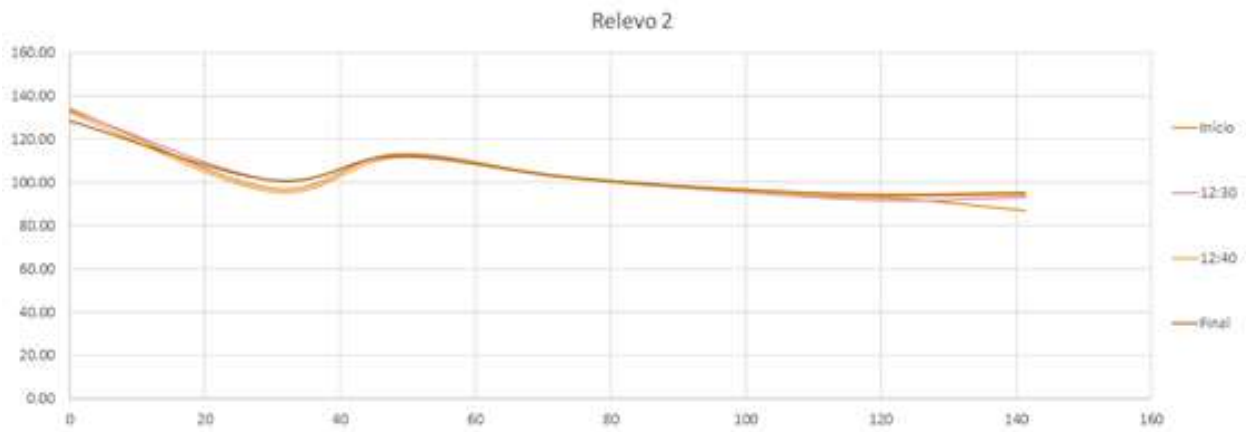
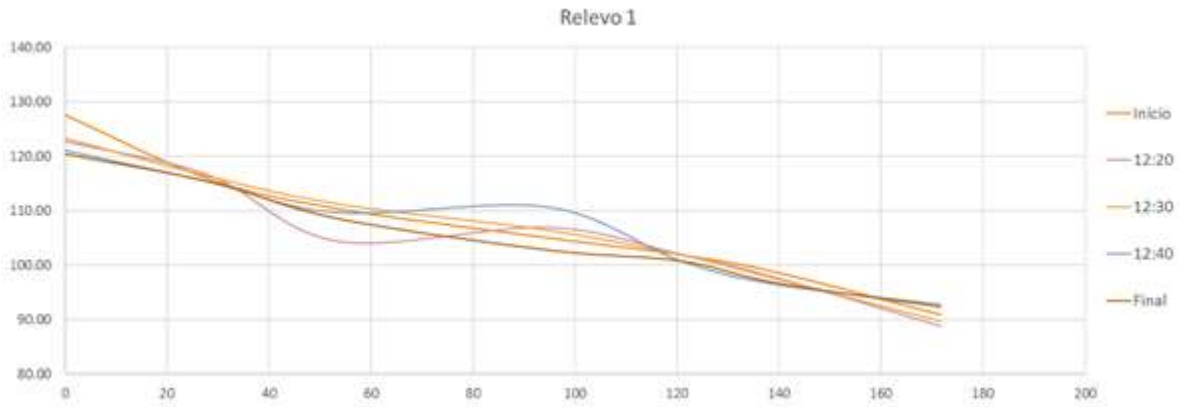
					Início		12:30		12:40		Final	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
2	1	198.25	0	0	64.00	134.25	65.00	133.25	65.90	132.35	69.70	128.55
	2	174.14	29.88	29.88	76.80	97.34	73.10	101.04	78.40	95.74	73.10	101.04
	3	179.35	18.71	48.59	66.00	113.35	66.70	112.65	67.70	111.65	67.20	112.15
	4	170.63	25.74	74.33	68.50	102.13	68.30	102.33	68.10	102.53	68.60	102.03
	5	167.03	31.1	105.43	72.60	94.43	72.90	94.13	72.30	94.73	71.30	95.73
	6	166.14	17.81	123.24	73.60	92.54	74.70	91.44	72.40	93.74	71.80	94.34
	7	165.54	18.16	141.4	78.50	87.04	72.40	93.14	71.30	94.24	70.30	95.24

					Início		13:08		13:18		13:28	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
3	1	246.54	0	0	47.80	198.74	48.20	198.34	48.30	198.24	47.00	199.54
	2	237.83	32.63	32.63	46.90	190.93	47.00	190.83	47.50	190.33	49.00	188.83
	3	223.08	30.12	62.75	38.10	184.98	37.90	185.18	37.90	185.18	38.30	184.78
	4	217.76	36.33	99.08	44.50	173.26	44.60	173.16	45.10	172.66	44.40	173.36
	5	214.13	33.73	132.81	50.10	164.03	50.20	163.93	50.20	163.93	49.60	164.53
	6	214.61	28.1	160.91	58.80	155.81	59.00	155.61	59.40	155.21	59.30	155.31
	7	209.11	34.61	195.52	57.90	151.21	59.90	149.21	60.50	148.61	59.80	149.31
	8	200.62	35.8	231.32	62.90	137.72	62.50	138.12	63.00	137.62	61.80	138.82
	9	202.94	32.31	263.63	66.60	136.34	65.50	137.44	65.20	137.74	64.70	138.24

					13:38		13:48		13:58		14:08	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
3	1	246.54	0	0	46.80	199.74	47.50	199.04	48.30	198.24	47.90	198.64
	2	237.83	32.63	32.63	46.40	191.43	47.10	190.73	47.10	190.73	47.10	190.73
	3	223.08	30.12	62.75	38.90	184.18	38.40	184.68	38.60	184.48	38.90	184.18
	4	217.76	36.33	99.08	45.60	172.16	44.60	173.16	44.90	172.86	42.40	155.36
	5	214.13	33.73	132.81	51.80	162.33	51.40	162.73	62.30	151.83	63.10	151.03
	6	214.61	28.1	160.91	58.50	156.11	60.10	154.51	66.40	148.21	66.40	148.21
	7	209.11	34.61	195.52	58.50	150.61	60.60	148.51	64.30	144.81	63.30	145.81
	8	200.62	35.8	231.32	59.10	141.52	59.80	140.82	63.60	137.02	60.60	140.02
	9	202.94	32.31	263.63	62.50	140.44	63.20	139.74	66.00	136.94	61.30	141.64

					14:18		14:28		Final	
					Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)	Medição estaca (cm)	Cota Perfil (cm)
3	1	246.54	0	0	48.60	197.94	49.40	197.14	60.60	185.94
	2	237.83	32.63	32.63	47.70	190.13	56.50	181.33		165.00
	3	223.08	30.12	62.75	42.80	180.28	64.00	159.08	70.60	152.48
	4	217.76	36.33	99.08	62.80	154.96	66.60	151.16	72.00	145.76
	5	214.13	33.73	132.81	63.50	150.63	67.60	146.53	72.90	141.23
	6	214.61	28.1	160.91	66.70	147.91	71.40	143.21	71.80	142.81
	7	209.11	34.61	195.52	64.20	144.91	68.10	141.01	65.85	143.26
	8	200.62	35.8	231.32	63.80	136.82	67.50	133.12	67.50	133.12
	9	202.94	32.31	263.63	66.40	136.54	71.80	131.14		

### 9.4.3 Perfis dos Relevos 1 e 2

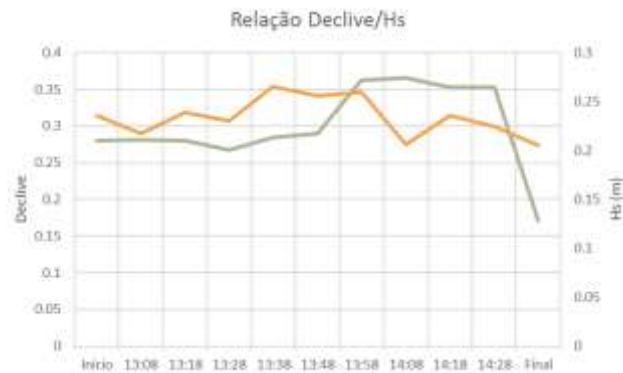


#### 9.4.4 Velocidade de espraio e relação agitação/perfil

#espraio	frames	segundos	velocidade
48	38	1.27	0.79
12	32	1.07	0.94
2	31	1.03	0.97
44	31	1.03	0.97
45	31	1.03	0.97
14	30	1.00	1.00
51	30	1.00	1.00
1	29	0.97	1.03
4	29	0.97	1.03
9	29	0.97	1.03
28	29	0.97	1.03
8	28	0.93	1.07
24	28	0.93	1.07
33	25	0.83	1.20
49	24	0.80	1.25
7	23	0.77	1.30
15	23	0.77	1.30
42	23	0.77	1.30
47	23	0.77	1.30
54	23	0.77	1.30
40	21	0.70	1.43
56	21	0.70	1.43
22	20	0.67	1.50
30	20	0.67	1.50
39	20	0.67	1.50
50	20	0.67	1.50
10	19	0.63	1.58
34	19	0.63	1.58
59	19	0.63	1.58
5	18	0.60	1.67
21	18	0.60	1.67
36	18	0.60	1.67
46	18	0.60	1.67
58	18	0.60	1.67
26	17	0.57	1.76
38	17	0.57	1.76
53	17	0.57	1.76
57	17	0.57	1.76
60	17	0.57	1.76
13	16	0.53	1.87
19	16	0.53	1.87
27	16	0.53	1.87
3	15	0.50	2.00
16	15	0.50	2.00
17	15	0.50	2.00
25	15	0.50	2.00
29	15	0.50	2.00
37	15	0.50	2.00
43	15	0.50	2.00
55	15	0.50	2.00
6	14	0.47	2.14
11	14	0.47	2.14
18	13	0.43	2.31
32	13	0.43	2.31
35	13	0.43	2.31
41	13	0.43	2.31
23	12	0.40	2.50
20	11	0.37	2.72
31	10	0.33	3.00
52	10	0.33	3.00

Distância (m)	1
Velocidade média	1.65
Velocidade máxima	3.00
Velocidade mínima	0.79

	Berma	Declive total	Declive da zona de escarpa	Hs	T1	T2	tz	Tp	fp
Início	198.74	0.2499	0.2795	0.235554	7.87059	7.180156	8.219134	9.999946	0.100001
13:08	198.34	0.2483	0.281	0.217223	7.870999	7.193321	7.407367	8.823482	0.113334
13:18	198.24	0.2481	0.2804	0.239101	8.117111	7.446219	8.695605	10.71423	0.093334
13:28	199.54	0.2447	0.2673	0.230242	7.808928	7.074846	7.594896	10.16944	0.098334
13:38	199.74	0.2376	0.2839	0.265109	8.347751	7.566854	8.823482	10.16944	0.098334
13:48	199.04	0.2415	0.2893	0.255794	8.430684	7.757924	8.219134	9.523758	0.105001
13:58	198.24	0.2579	0.3618	0.259479	8.548215	7.829849	8.823482	9.999946	0.100001
14:08	198.64	0.2347	0.3659	0.206211	8.294569	7.492669	8.108064	9.999946	0.100001
14:18	197.94	0.2445	0.3526	0.235601	8.295411	7.491761	8.823482	10.16944	0.098334
14:28	197.14	0.2284	0.3526	0.224104	8.133807	7.421252	8.823482	10.90903	0.091667
Final	185.94	0.1698	0.1714	0.205469	7.841268	7.007442	8.108064	10.52626	0.095001



## 9.5 Projeto CISML

### 9.5.1 Tabela síntese

Praia	ID	date	Media φ Média mm	B	ε	Declive	H0	L0	H0/L0	T0	H0	L0	H0/L0	T10	H0/L0	T10	Az	H0	Dbls0	H0/L0	Dbls15	Ataque15	S0	S0	S0	S0
PBP4(F)		29/03/2011	1.99	0.25		0.091	1.37	121.70	0.011	8.00	1.01	55.13	0.0054	10.31			340	1.39	1.79	4.70		0.091	1.153	0.152	0.104	0.321
		18/04/2011	2.43	0.19		0.043	2.19	132.46	0.017	8.75	1.73	82.75	0.0087	9.10			346	2.11	2.71	2.27		0.043	1.027	0.152	0.091	0.259
		29/09/2011	2.13	0.23		0.070	2.25	193.73	0.012	10.89	1.30	102.32	0.0272	10.97			340	1.71	2.11	9.11		0.070	1.141	0.152	0.084	0.275
		16/12/2011	1.15	0.23		0.057	1.47	211.48	0.021	11.09	3.59	116.57	0.0381	12.35			340	3.96	5.08	5.06		0.057	0.954	0.153	0.032	0.211
		13/03/2012	2.42	0.37		0.070	1.37	199.84	0.007	10.87	1.05	103.61	0.0109	11.08			340	1.45	1.86	4.19		0.070	1.138	0.151	0.076	0.380
		25/06/2012	1.71	0.31		0.163	1.52	74.51	0.020	6.31	1.08	62.84	0.0366	7.26			340	1.32	1.69	1.69		0.163	0.965	0.155	0.142	0.301
Baial - Peniche		19/09/2012	2.40	0.19		0.078	2.34	159.00	0.005	9.65	1.91	98.25	0.0946	10.58			340	2.35	3.01	1.93		0.078	1.063	0.151	0.069	0.251
		17/12/2012	2.22	0.22		0.056	4.44	314.38	0.014	13.93	3.54	131.68	0.0261	13.82			340	3.96	5.08	6.59		0.056	1.077	0.159	0.033	0.222
		05/03/2011	1.68	0.31		0.053	1.46	99.14	0.015	7.16	1.09	78.13	0.0389	8.70			270	1.42	1.82	-8.96		0.053	1.064	0.153	0.109	0.320
		30/05/2011	1.31	0.40		0.103	1.71	159.94	0.011	9.33	1.29	98.90	0.0313	10.60			270	1.63	2.09	-14.81		0.103	1.171	0.151	0.068	0.344
		31/08/2011	1.61	0.33		0.097	1.20	57.79	0.021	5.66	1.02	43.95	0.0317	5.61			270	1.17	1.50	-7.87		0.097	0.960	0.159	0.201	0.323
		28/12/2011	1.06	0.48		0.109	1.55	179.41	0.009	10.07	1.39	101.49	0.1055				270	1.79	2.29	-10.09		0.109	1.254	0.151	0.058	0.382
PMG1(F)		09/03/2012	1.15	0.45		0.050	3.97	353.23	0.011	14.81	3.71	140.78	0.0343	14.67			270	4.07	5.72	-16.68		0.050	1.153	0.151	0.019	0.285
		05/06/2012	1.71	0.31		0.113	1.53	128.81	0.012	8.58	1.23	84.95	0.0451	9.31			270	1.60	2.05	-7.91		0.113	1.134	0.152	0.091	0.325
		31/08/2012	1.17	0.45		0.099	2.06	97.01	0.021	7.43	1.69	76.26	0.0222	8.49			270	1.96	2.52	-16.28		0.099	0.953	0.151	0.067	0.304
		21/09/2012	1.28	0.41		0.042	2.39	89.46	0.027	7.19	1.64	63.31	0.0281	7.32			270	1.77	2.27	-20.47		0.042	0.890	0.152	0.090	0.277
		06/03/2011	0.75	0.87		0.049	1.15	82.03	0.014	6.32							285					0.049	1.078	0.151	0.049	0.440
		02/06/2011	1.29	0.30		0.012	1.61	90.49	0.018	6.96							285					0.012	0.815	0.152	0.085	0.340
Vitéria		15/09/2011	0.90	0.54		0.107	1.85	160.33	0.012	9.78							285					0.107	1.145	0.151	0.049	0.358
		30/12/2011	1.00	1.07		0.077	2.43	212.61	0.011	11.27							285					0.077	1.147	0.159	0.034	0.358
		25/03/2012	1.85	0.28		0.069	2.23	228.15	0.010	11.75							285					0.069	1.077	0.159	0.047	0.297
		02/06/2012	1.40	1.32		0.113	1.68	174.90	0.010	10.25							285					0.113	1.209	0.159	0.032	0.473
		20/09/2012	0.72	0.61		0.083	1.60	151.70	0.011	9.49							285					0.083	1.175	0.151	0.053	0.388
		18/12/2012	-1.38	2.60		0.077	2.76	206.69	0.014	10.94							285					0.077	1.085	0.159	0.013	0.468
Cosos		22/03/2011	0.99	0.50		0.147	1.21	130.09	0.009	8.50	1.12	86.32	0.0300	9.44			300	1.40	1.79	16.09		0.147	1.222	0.151	0.080	0.406
		17/06/2011	0.98	0.47		0.080	2.03	147.29	0.014	9.18	1.83	87.00	0.0202	9.90			320	2.12	2.72	17.75		0.080	1.085	0.151	0.054	0.330
		26/09/2011	0.76	0.59		0.156	2.25	193.73	0.012	10.89	1.10	72.04	0.0529	8.10			320	1.35	1.74	14.83		0.156	1.141	0.159	0.038	0.408
		29/12/2011	0.89	0.54		0.109	2.51	168.08	0.015	9.58	2.45	111.71	0.0290	11.88			320	2.76	3.54	21.08		0.109	1.059	0.159	0.031	0.320
		08/03/2012	0.69	0.62		0.130	2.72	272.94	0.010	12.42	2.90	129.07	0.0247	13.57			320	3.19	4.09	23.84		0.130	1.196	0.159	0.022	0.345
		04/06/2012	1.09	0.47		0.163	1.91	707.96	0.011	7.94	1.08	69.72	0.0548	7.88			320	1.27	1.64	15.73		0.163	1.159	0.151	0.110	0.398
PLOB1(F)		01/09/2012	0.67	0.63		0.137	1.42	86.65	0.016	6.99	1.02	62.51	0.0625	7.23			320	1.28	1.64	8.62		0.137	1.080	0.152	0.102	0.378
		16/12/2012	1.38	0.38		0.076	5.15	322.14	0.016	14.00	5.39	141.95	0.0302	14.82			320	5.59	6.92	33.92		0.076	1.039	0.159	0.015	0.255
		08/03/2011	1.57	0.34		0.091	1.66	155.59	0.011	8.75	1.45	116.48	0.0247	12.34			320	1.99	2.49	3.96		0.091	1.171	0.151	0.055	0.331
		14/06/2011	0.48	0.71		0.099	1.29	100.99	0.013	7.68	0.98	63.82	0.0341	7.35			320	1.26	1.61	7.88		0.099	1.109	0.152	0.096	0.415
		27/09/2011	0.77	0.59		0.142	1.13	304.70	0.011	7.83	0.93	60.46	0.0536	7.04			320	1.20	1.54	4.90		0.142	1.168	0.151	0.116	0.449
		15/12/2011	0.88	0.54		0.113	5.17	335.21	0.015	14.37	4.91	137.90	0.0354	14.45			320	5.15	6.60	1.95		0.113	1.049	0.159	0.014	0.266
Lagooa de Obidos		26/03/2012	1.44	0.37		0.096	2.01	206.54	0.010	11.19	1.65	94.91	0.0738	10.26			320	2.07	2.66	5.36		0.096	1.204	0.151	0.058	0.327
		08/06/2012	0.02	0.99		0.086	1.91	125.99	0.015	8.67	1.33	77.27	0.0378	8.58			320	1.88	2.41	6.51		0.086	1.054	0.159	0.047	0.339
		21/09/2012	1.11	0.46		0.125	1.28	138.45	0.009	9.20	0.98	73.88	0.0210	8.77			320	1.20	1.54	8.50		0.125	1.223	0.151	0.112	0.393
		08/03/2011	1.64	0.32		0.026	1.66	155.59	0.011	8.75	1.46	116.21	0.0277	12.31			320	1.95	2.51	3.16		0.026	1.171	0.151	0.055	0.328
		14/06/2011	0.41	0.75		0.144	1.29	100.99	0.013	7.68	0.99	65.15	0.0517	7.47			320	1.27	1.63	7.14		0.144	1.109	0.152	0.091	0.420
		27/09/2011	0.18	0.88		0.074	1.13	304.70	0.011	7.83	0.94	61.53	0.0528	7.14			320	1.22	1.56	4.74		0.074	1.168	0.152	0.092	0.404
PLOB2(F)		15/12/2011	-0.78	1.71		0.094	5.17	335.21	0.015	14.37	4.91	137.90	0.0354	14.43			320	5.18	6.64	0.88		0.094	1.049	0.159	0.008	0.355
		26/03/2012	1.39	0.38		0.067	2.01	206.54	0.010	11.19	1.69	96.05	0.0762	10.36			320	2.12	2.72	4.83		0.067	1.204	0.151	0.055	0.330
		08/06/2012	1.45	0.37		0.091	1.91	125.99	0.015	8.67	1.36	78.62	0.0366	8.71			320	1.92	2.46	5.51		0.091	1.054	0.151	0.074	0.310
		21/09/2012	0.93	0.52		0.088	1.28	138.45	0.009	9.20	0.90	75.64	0.0292	8.43			320	1.21	1.56	7.91		0.088	1.223	0.151	0.101	0.410
		19/12/2012	0.88	0.54		0.093	2.48	131.25	0.019	8.64	1.96	88.66	0.0235	9.65			320	2.37	3.04	6.54		0.093	0.987	0.159	0.045	0.304



Nazare	PNZ(F)	07/03/2011	1.49	0.36					0.148	1.03	82.48	0.012	6.44	0.59	77.32	0.00762	8.59	0.60	100.79	0.00955	9.37	270	0.88	1.13	-0.27	0.71	0.91	-14.17	0.148	1.117	0.156	0.168	0.377
		13/06/2011	0.26	0.83					0.145	2.40	140.10	0.017	8.96	1.22	92.84	0.03311	10.06	1.83	106.78	0.01511	9.82	276	1.62	2.08	-2.65	1.50	1.92	-24.34	0.145	1.016	0.151	0.059	0.353
		30/09/2011	1.17	0.44					0.156	3.50	256.33	0.014	12.22	1.93	112.19	0.01718	11.92	2.29	131.35	0.00712	13.26	278	2.40	3.08	-0.55	2.19	2.81	-24.52	0.156	1.088	0.159	0.038	0.261
		27/12/2011	1.40	0.38					0.156	1.66	223.03	0.007	11.65	0.98	102.65	0.00952	11.00	1.17	128.06	0.00915	11.45	276	1.38	1.77	-1.93	1.18	1.51	-18.51	0.158	1.304	0.151	0.088	0.361
		22/03/2012	0.64	0.64					0.138	0.96	149.95	0.004	8.50	0.36	85.37	0.00423	9.35	0.38	102.93	0.00351	10.02	270	0.61	0.78	-0.40	0.49	0.63	-11.75	0.138	1.547	0.156	0.165	0.579
		02/06/2012	1.20	0.44					0.194	1.68	174.90	0.010	10.25	0.90	75.08	0.01189	8.38	0.98	112.95	0.00865	10.29	276	1.23	1.58	-0.67	1.10	1.41	-17.16	0.194	1.209	0.153	0.119	0.358
		20/09/2012	1.51	0.35					0.173	1.60	151.70	0.011	9.49	0.91	84.06	0.01087	9.22	1.05	106.14	0.00987	9.77	276	1.27	1.63	-1.25	1.08	1.39	-17.89	0.173	1.175	0.151	0.108	0.338
		18/12/2012	0.35	0.78					0.091	2.76	200.69	0.014	10.94	1.63	98.49	0.00550	10.60	1.92	123.08	0.01561	11.06	270	2.07	2.65	-1.40	1.78	2.28	-21.98	0.091	1.085	0.159	0.038	0.347
		07/03/2011	0.87	0.55					0.137	1.61	82.48	0.012	6.44					0.88	94.52	0.00986	8.91	295				1.27	1.62	3.13	0.137	1.117	0.152	0.089	0.412
		02/06/2011	1.20	0.43					0.138	1.61	90.49	0.018	6.96					1.36	95.49	0.00927	8.98	295				1.79	2.29	-5.08	0.138	1.004	0.151	0.071	0.330
		15/09/2011	0.89	0.54					0.098	1.85	160.33	0.012	9.78					1.68	103.50	0.01624	9.57	295				2.17	2.78	-0.02	0.098	1.145	0.151	0.049	0.359
		27/12/2011	1.63	0.32					0.091	1.66	223.03	0.007	11.65					1.99	128.84	0.00231	11.51	295				2.15	2.76	1.04	0.091	1.304	0.151	0.053	0.346
Pedras Negras	PPN(F)	25/03/2012	1.03	0.49					0.091	2.23	228.15	0.010	11.75				2.13	125.46	0.00701	11.25	295				2.71	3.48	3.58	0.091	1.202	0.159	0.035	0.342	
		02/06/2012	1.67	0.31					0.083	1.68	174.90	0.010	10.25				1.54	108.64	0.01421	9.96	295				2.03	2.61	4.87	0.083	1.209	0.151	0.066	0.330	
		20/09/2012	1.85	0.37					0.108	1.60	151.70	0.011	9.49				1.42	102.84	0.03759	9.53	295				1.88	2.40	1.31	0.108	1.175	0.151	0.056	0.375	
		18/12/2012	0.47	0.55					0.063	2.76	200.69	0.014	10.94				2.61	123.14	0.02119	11.07	295				3.18	4.08	1.36	0.063	1.085	0.151	0.035	0.287	
		24/03/2011	0.82	0.56					0.147	1.55	181.25	0.009	10.29	0.85	89.05	0.00958	9.78	0.83	103.04	0.00802	9.54	305	1.21	1.51	3.46	1.21	1.57	2.96	0.144	1.253	0.159	0.085	0.387
		15/06/2011	0.72	0.61					0.161	3.55	156.75	0.023	9.49	0.91	58.66	0.01554	6.87	0.91	65.10	0.04031	6.81	305	1.16	1.49	7.14	1.15	1.48	6.98	0.161	0.934	0.153	0.121	0.283
		03/09/2011	0.73	0.60					0.133	3.55	156.75	0.023	9.49	1.44	101.55	0.01545	10.89	1.38	118.62	0.01463	10.72	305	1.87	2.40	5.06	1.89	2.42	4.42	0.132	0.934	0.152	0.047	0.283
		07/12/2011	1.06	0.48					0.088	3.55	156.75	0.023	9.49	3.15	100.59	0.03127	10.88	3.02	117.48	0.02567	10.63	305	3.51	4.30	4.05	3.54	4.54	3.05	0.089	0.934	0.159	0.028	0.267
		21/03/2012	1.25	0.42					0.118	0.90	94.91	0.009	7.08	0.79	79.75	0.00996	8.82	0.78	91.45	0.00850	8.68	305	1.12	1.44	3.70	1.13	1.45	3.29	0.118	1.214	0.153	0.117	0.416
		07/06/2012	1.40	0.38					0.100	0.90	94.91	0.009	7.08	0.71	83.26	0.00530	9.15	2.05	95.86	0.01433	9.01	305	2.47	3.16	7.25	2.48	3.18	6.68	0.110	1.214	0.153	0.054	0.405
		19/09/2012	1.24	0.42					0.155	0.90	94.91	0.009	7.08	1.98	98.47	0.00708	10.60	1.89	114.74	0.01651	10.42	305	2.42	3.10	1.44	2.43	3.12	0.55	0.159	1.214	0.159	0.045	0.416
		03/12/2012	1.52	0.35					0.112	2.35	132.06	0.018	8.71	2.14	123.30	0.01735	13.03	2.08	145.75	0.03921	12.83	305	2.62	3.36	6.65	2.65	3.40	5.85	0.112	1.005	0.159	0.037	0.284
Baical Sul	PSS(F)	22/03/2011	0.41	0.74				0.168	1.37	121.70	0.011	8.00	1.00	83.83	0.01189	9.28	1.00	95.79	0.01049	9.00	270	1.35	1.74	-5.30	1.40	1.79	-5.67	0.168	1.153	0.151	0.070	0.420	
		17/06/2011	0.22	0.86				0.165	2.05	147.29	0.014	9.18	1.59	84.26	0.01883	9.24	1.61	96.06	0.01680	9.02	270	1.96	2.51	-8.27	2.02	2.60	-9.04	0.161	1.085	0.159	0.045	0.384	
		07/09/2011	0.32	0.80				0.152	1.26	116.29	0.012	7.54	1.15	94.89	0.01212	10.25	1.15	110.93	0.00940	10.13	270	1.96	2.00	-1.82	1.62	2.08	-1.61	0.152	1.140	0.151	0.052	0.433	
		29/12/2011	0.45	0.73				0.109	2.51	168.08	0.015	9.58	1.97	107.52	0.01835	11.47	1.96	124.72	0.01574	11.19	270	2.42	3.10	-7.81	2.51	3.22	-8.24	0.109	1.059	0.159	0.032	0.345	
		08/03/2012	0.35	0.78				0.165	2.71	272.94	0.010	12.42	2.31	124.92	0.01848	13.16	2.26	146.70	0.01540	12.90	270	2.79	3.38	-6.93	2.88	3.20	-7.07	0.165	1.196	0.159	0.023	0.365	
		04/06/2012	0.34	0.69				0.177	1.19	107.56	0.011	7.94	1.01	88.32	0.01476	7.78	1.03	76.96	0.03361	7.64	270	1.32	1.69	-3.38	1.35	1.73	-3.76	0.177	1.159	0.152	0.088	0.408	
		04/06/2012	0.43	0.74				0.178	1.42	86.65	0.016	8.69	0.68	69.69	0.01426	7.15	0.97	67.86	0.04265	7.00	270	1.11	1.43	-13.21	1.16	1.48	-13.22	0.178	1.033	0.151	0.108	0.394	
		16/12/2012	0.41	0.75				0.110	5.13	322.14	0.016	14.00	4.56	137.32	0.03315	14.40	4.50	162.17	0.02771	14.12	270	4.86	6.24	-7.28	5.09	6.53	-7.15	0.110	1.038	0.159	0.012	0.288	
		31/03/2011	1.47	0.38				0.120	1.81	178.55	0.020	9.95	0.38	121.19	0.00476	12.88	0.85	141.72	0.00462	12.51	205	0.89	1.14	-8.33	1.01	1.31	-9.61	0.122	1.119	0.153	0.110	0.333	
		30/06/2011	1.58	0.33				0.131	0.90	62.29	0.014	5.87	0.19	60.26	0.00308	7.03	0.26	64.30	0.03988	6.76	205	0.31	0.40	-6.88	0.37	0.47	-9.15	0.131	1.069	0.228	0.559	0.368	
		07/12/2011	1.56	0.34				0.123	2.72	214.46	0.013	11.17	0.99	125.72	0.00787	13.24	1.11	147.38	0.00756	12.95	205	1.38	1.77	-10.50	1.57	2.00	-11.48	0.121	1.181	0.152	0.070	0.286	
		Tamariz	PTM(F)	01/03/2012	1.50	0.35			0.121	2.16	155.16	0.014	9.39	0.77	102.51	0.00755	10.99	0.89	117.30	0.00759	10.62	205	1.11	1.42	-9.54	1.26	1.61	-11.44	0.121	1.081	0.152	0.108	0.302
09/06/2012	1.65			0.32			0.096	1.36	139.06	0.010	9.14	0.56	84.32	0.00669	9.25	0.66	94.53	0.03702	8.91	205	0.84	1.07	-8.58	0.95	1.21	-10.16	0.096	1.194	0.157	0.172	0.345		
30/08/2012	1.66			0.37			0.127	3.21	124.88	0.019	8.49	0.70	101.84	0.00691	10.92	0.82	116.75	0.00420	10.58	205	1.02	1.31	-9.21	1.16	1.51	-11.37	0.088	0.988	0.151	0.121	0.272		
29/11/2012	1.47			0.36			0.127	3.21	124.45	0.026	8.53	0.58	96.96	0.00596	10.45	0.70	111.91	0.00624	10.21	205	0.86	1.11	-9.26	1.00	1.28	-11.44	0.127	0.899	0.154	0.138	0.251		

Todos os scripts e objetos utilizados em Matlab © estão disponíveis em:

<https://www.dropbox.com/sh/2uru26lkvx79kgk/AADjhLy72nD2Raw46Vfe47dUa?dl=0>

## 9.6 Gráficos de relação entre o declive e a agitação marítima dos dados de Narrabeen

